

# **AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS OCUPANTES NO DESEMPENHO HIGROTÉRMICO EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS**

**FERNANDO PEDRO FERNANDES PEREIRA**

**Tese submetida para obtenção do grau de**  
Doutor em Engenharia Civil

---

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

JULHO DE 2018

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Programa Doutoral em Engenharia Civil - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2018*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Ao Francisco, ao Tomás, à Ana e aos meus Pais.





## **AGRADECIMENTOS**

Uma Tese de Doutoramento embora seja essencialmente um trabalho individual é também fruto do contributo pontual de outros intervenientes cuja importância tem que ser realçada.

Esta etapa seria impensável sem o apoio do meu orientador, o Exmo. Senhor Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos, cuja disponibilidade, apoio e amizade não posso deixar de agradecer.

Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto “H0ME ZERO”, com referência POCI-01-0247-FEDER-017840, cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020) e do Portugal 2020.

Este trabalho foi financiado por: Projeto POCI-01-0145-FEDER-007457 - CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções - financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P.

Agradeço também ao Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto na pessoa do seu Diretor, Exmo. Senhor Professor Doutor Vasco Peixoto de Freitas pela disponibilização de equipamento e das instalações, necessários para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas e amigos pelo debate crítico de ideias e apoio sempre essencial no desenvolvimento de um trabalho de investigação.

À Ana o reconhecimento pela motivação e apoio sempre presentes e pelos sacrifícios que esta minha opção implicou nas escolhas da família. Aos meus Pais o reconhecimento pelo esforço na minha educação e pelos valores que me foram transmitidos. Aos meus Filhos um pedido de desculpas pelas horas que este trabalho lhes subtraiu.



## RESUMO

O conceito de edifício habitacional inteligente está associado à criação de um sistema de gestão centralizada da casa tendo em conta as exigências dos seus ocupantes ao nível de conforto térmico e das atividades da sua vida quotidiana, mantendo uma boa qualidade do ar interior com o mínimo de gastos energéticos. Por outro lado, o comportamento dos ocupantes é amplamente reconhecido como sendo um fator preponderante para a existência de incerteza no desempenho dos edifícios. Em regiões de clima temperado, onde as interações dos ocupantes com as habitações são a principal forma de cumprir os seus requisitos de conforto e de ventilação, a importância dos estudos de comportamento dos ocupantes assume um caráter ainda mais importante.

O objetivo principal deste trabalho consistiu no desenvolvimento e implementação de metodologias que permitam o aumento do conhecimento do comportamento dos ocupantes de edifícios residenciais, possibilitando o alavancamento funcional dos edifícios, dotando-os de inteligência. Para tal, a metodologia da presente Tese de Doutoramento consistiu na: criação de módulos de sensores específicos para o estudo do comportamento dos ocupantes; desenvolvimento de metodologias para aferir ações dos ocupantes a partir dos dados monitorizados; deteção das motivações dos ocupantes para tomarem determinadas ações; e na identificação dos impactos dessas ações. Neste trabalho foi usado um caso de estudo constituído por uma fração habitacional de um prédio multifamiliar localizado no conselho do Porto. A fração foi monitorizada durante a sua ocupação normal através de sensores de temperatura, humidade relativa, concentração de dióxido de carbono e estado das janelas durante 2 anos.

Foram criados três módulos de sensores no estado de protótipos e foram criadas duas metodologias para detetar as ações do quotidiano dos ocupantes através de sensores de temperatura, humidade relativa e/ou concentração de dióxido de carbono. Os módulos de sensores desenvolvidos têm a particularidade de serem de baixo custo e possuem uma precisão e fiabilidade de nível profissional. As metodologias criadas para detetar as ações quotidianas dos ocupantes foram desenvolvidas para serem usadas com bases de dados existentes ou através de novas monitorizações com sensores muito usados em diversas áreas de estudos. As metodologias foram verificadas e validadas, obtendo-se precisões superiores a 99%.

Os impactos que as ações do quotidiano dos ocupantes têm no ambiente interior da fração habitacional também foram avaliados. Foi estudado e quantificado o impacto das ações com a particularidade de se ter analisado a influência da posição dos sensores para se detetarem esses impactos. Foi possível concluir que a posição dos sensores assume uma relevância importante e que sensores distanciados cerca de 2 m, mas localizados no mesmo compartimento, podem quantificar a mesma ação com ordens de grandeza diferentes. Foram ainda criados perfis tipo dos parâmetros de temperatura, concentração de dióxido de carbono e de pressão parcial de vapor de água, por compartimento. Identificou-se que os perfis tipo têm uma base que corresponde aos dias sem ocupação que é alterado devido aos impactos que as ações dos ocupantes têm no ambiente interior.

Foram ainda avaliadas as motivações que levam os ocupantes a executarem determinadas tarefas. As motivações foram identificadas através dos coeficientes de correlação de Spearman. Foi evidenciada uma alteração das motivações dos ocupantes para executarem as ações relacionada com a estação do ano onde ocorrem. Foram também desenvolvidos modelos de previsão das ações em função da sua probabilidade de ocorrência através de equações logísticas. A percentagem de sucesso dos modelos de previsão foi sempre superior a 86%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Comportamento dos ocupantes; Edifícios habitacionais; Edifícios inteligentes; Desempenho higrotérmico; Ventilação; Data mining; Medição *in situ*.



## **ABSTRACT**

The concept of intelligent building is associated with the creation of a management system, taking into account the requirements of its occupants regarding thermal comfort and the activities of their daily life, maintaining a good indoor air quality and minimizing the energy consumption. On the other hand, occupant behaviour is widely recognized as being a preponderant factor for the existence of uncertainty in the performance of buildings. In mild climate regions, where occupants' interactions with dwellings are the primary way to meet their comfort and ventilation requirements, the study of occupant behaviour becomes even more important.

The main objective of this work was the development and implementation of methodologies that allow the increase of knowledge of the occupant behaviour in the residential sector, providing intelligence to buildings. For this, the methodology of the present PhD consisted of: creation of specific sensor modules for the study of occupant behaviour; development of methodologies to measure occupants' actions from the monitored data; detecting occupants' motivations to take certain actions; and identifying the impacts of these actions. In this work, a case study consisting of a dwelling in a multifamily building located in the Porto council was used. The dwelling was monitored during its normal occupation through sensors of temperature, relative humidity, carbon dioxide concentration and window condition, during 2 years.

Three prototype sensor modules were created, and two methodologies were developed to detect occupants' daily actions through sensors of temperature, relative humidity and / or concentration of carbon dioxide. The developed sensor modules have the particularity of being low cost and having a professional level of accuracy and reliability. The methodologies created to detect the daily actions of the occupants were developed for use with existing databases or in new monitoring campaigns with sensors already widespread and widely used in various areas of study. The methodologies were verified and validated, and their results were compared through a confusion matrix. The found accuracies were always above 99%.

The impacts that the daily actions of the occupants have on the indoor environment of the dwelling were also evaluated. The analysis of the influence of the sensor position to detect these impacts was also performed. It was found that the position of the sensors is very important and that a sensor distance of about 2 m apart, but located in the same room, can quantify the same action with different orders of magnitude. The parameters profile of temperature, carbon dioxide concentration and partial water vapour pressure in each room were also created. It was found that the profiles have a base that corresponds to the days without occupancy which is changed due to the impacts that occupants' actions have on the indoor environment.

The drivers that led the occupants to perform certain actions were also evaluated. The drivers were identified through the Spearman correlation coefficients. A change in the drivers of the occupants to perform the actions related to the season of the year in which they occurred was identified. Prediction models of the actions in function of their probability of occurrence through logistic equations was developed. The percentage success of the forecast models was always higher than 86%.

**KEYWORDS:** Occupant behaviour, Residential buildings; Intelligent Buildings; Hygrothermal Performance; Ventilation; Data mining; In situ monitoring.



## ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Motivação.....	1
1.2. Objetivos .....	4
1.3. Estrutura do texto .....	4
2. ESTADO DA ARTE.....	7
2.1. Enquadramento.....	7
2.2. Edifícios inteligentes adaptados aos ocupantes.....	7
2.2.1. Conceito de edifício inteligente.....	7
2.2.2. Edifícios residenciais inteligentes .....	13
2.3. Comportamento dos ocupantes em edifícios residenciais .....	15
2.3.1. Detecção das ações dos ocupantes .....	16
2.3.2. Avaliação das motivações dos ocupantes.....	23
2.3.3. Avaliação dos impactos dos ocupantes .....	27
2.3.4. Modelação do comportamento dos ocupantes.....	31
2.4. Requisitos relevantes para a análise do comportamento dos ocupantes.....	38
2.4.1. Conforto térmico .....	38
2.4.2. Qualidade do ar interior.....	45
2.4.3. Iluminação.....	49
2.5. Síntese do capítulo .....	52
3. METODOLOGIA, CASO DE ESTUDO E EQUIPAMENTOS .....	59
3.1. Metodologia .....	59
3.2. Descrição do caso de estudo.....	62
3.3. Equipamentos .....	64
3.3.1. Equipamentos para avaliação da estanquidade e ventilação .....	64
3.3.2. Equipamentos comerciais de monitorização contínua .....	65
3.3.3. Protótipos de monitorização contínua .....	70
3.3.3.1. Protótipo de deteção de abertura de janelas e persianas.....	70
3.3.3.2. Protótipo de medição de CO <sub>2</sub> .....	73
3.3.3.3. Protótipo de T/ HR, Movimento e Iluminância.....	76
3.3.3.4. Verificação dos protótipos.....	77
3.4. Registo diário dos ocupantes .....	80
3.5. Campanha de avaliação in-situ.....	82
3.6. Caracterização do clima exterior .....	85
3.7. Caracterização da estanquidade e ventilação do caso de estudo .....	88

3.7.1.	Metodologia .....	88
3.7.2.	Resultados .....	93
3.8.	Avaliação das condições ambientais interiores .....	95
4.	IMPACTOS DAS AÇÕES DOS OCUPANTES .....	101
4.1.	Estratégia da análise dos impactos dos ocupantes.....	101
4.2.	Metodologia de deteção e quantificação dos impactos .....	104
4.3.	Tratamento de dados .....	105
4.3.1.	Impactos das ações .....	106
4.3.2.	Perfis dos ocupantes .....	120
4.4.	Discussão e Síntese do capítulo .....	129
5.	MOTIVAÇÕES DAS AÇÕES DOS OCUPANTES .....	133
5.1.	Estratégia da análise das motivações dos ocupantes .....	133
5.2.	Metodologia de identificação e hierarquização das motivações .....	139
5.3.	Tratamento de dados .....	140
5.3.1.	Motivação das ações.....	140
5.3.1.1.	Motivações para o início da ação .....	140
5.3.1.2.	Motivações para o fim/duração da ação .....	144
5.3.2.	Previsão das ações dos ocupantes .....	150
5.4.	Discussão e Síntese do capítulo .....	157
6.	DETEÇÃO DAS AÇÕES DOS OCUPANTES.....	159
6.1.	Estratégia de deteção das ações dos ocupantes .....	159
6.2.	Tratamento de dados - Método CPA.....	162
6.2.1.	Introdução ao método CPA .....	162
6.2.2.	Metodologia de deteção das ações dos ocupantes - CPA.....	164
6.2.3.	Resultados e Discussão .....	167
6.2.3.1.	Exemplo do funcionamento do CPA.....	167
6.2.3.2.	Aplicação da metodologia.....	170
6.2.3.3.	Validação da metodologia.....	173
6.3.	Tratamento de dados - Método das Variações Sucessivas .....	177
6.3.1.	Metodologia de deteção das ações dos ocupantes - variações sucessivas.....	177
6.3.2.	Resultados e Discussão .....	182
6.3.2.1.	Exemplo do funcionamento do Método das Variações Sucessivas.....	182
6.3.2.2.	Aplicação da metodologia.....	185
6.3.2.3.	Validação da metodologia.....	193
6.4.	Síntese do capítulo .....	194



7. CONCLUSÕES.....	197
7.1. Conclusões finais.....	197
7.2. Desenvolvimentos futuros.....	203
BIBLIOGRAFIA.....	205
ANEXO I .....	I
ANEXO II .....	XIII



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução do consumo de energia do setor dos edifícios em Portugal [adaptado INE e DGEG (2011)].	2
Figura 2 – Distribuição do consumo de energia (tep) por tipo de utilização (esq.) e distribuição da despesa com energia (€) por tipo de utilização [adaptado INE e DGEG (2011)].	2
Figura 3 – Evolução dos estudos do comportamento dos ocupantes em edifícios residenciais – fonte Scopus.	3
Figura 4 – Enquadramento da investigação do comportamento dos ocupantes dos edifícios [adaptado de Hong et al. (2015)].	4
Figura 5 – Interligação entre as áreas alvo de estudo no estado da arte.	7
Figura 6 – Esquema representativo dos desfaseamentos existentes desde a fase de projeto até à pós-ocupação, adaptado de Delzendeh et al. (2017).	15
Figura 7 – Dados utilizados no estudo das motivações das ações dos ocupantes.	24
Figura 8 – Dados utilizados no estudo dos impactos das ações dos ocupantes.	27
Figura 9 – Dimensões da modelação [adaptado de Melfi et al. (2011)].	32
Figura 10 – Interação térmica do corpo humano com o ambiente exterior, adaptado de (ASHRAE-Fundamentals 2009).	38
Figura 11 – Categorias de adaptação (De Dear, Brager, e Cooper 1997).	42
Figura 12 – Critérios de conforto para a estação de aquecimento de acordo com o modelo adaptativo a EN-15251 (2007).	44
Figura 13 – Critérios de conforto para a estação de aquecimento e arrefecimento de acordo com a EN-15251 (2007).	44
Figura 14 – Influência da HR na saúde dos seres humanos (Arundel et al. 1986).	47
Figura 15 – Relação entre as ações dos ocupantes e as suas motivações em edifícios residenciais.	56
Figura 16 – Relação entre as ações dos ocupantes e seus impactos no ambiente interior, em edifícios residenciais.	57
Figura 17 – Metodologia de modelação do comportamento dos ocupantes.	58
Figura 18 – Processo de KDD [adaptado de Fayyad, Piatetsky-Shapiro, e Smyth (1996)].	60
Figura 19 – Metodologia da tese de doutoramento.	62
Figura 20 – Esquema de monitorização.	62
Figura 21 – Localização do caso de estudo [extraído de Google maps].	63
Figura 22 – Planta da fração habitacional utilizada como caso de estudo.	63
Figura 23 – Equipamento de porta ventiladora utilizado.	65
Figura 24 – Equipamento de espectroscopia foto acústica utilizado.	65
Figura 25 – Equipamentos de monitorização utilizados (UX100-011, Telsaire 7001 e U12-013).	66
Figura 26 – Câmara climática Vötsch - modelo VC 4034.	68
Figura 27 – Ciclo de verificação.	68

Figura 28 – Valores de temperatura obtidos pelos sensores. ....	69
Figura 29 – Valores de humidade relativa obtidos pelos sensores. ....	69
Figura 30 – Extrato do relatório de calibração do equipamento de medição de CO <sub>2</sub> . ....	69
Figura 31 – Equipamento de monitorização dos consumos energéticos no aquecimento ambiente. ....	70
Figura 32 – Esquema de funcionamento dos sensores “reed switch” [ficha de produto]. ....	70
Figura 33 – Módulo de deteção de estado das janelas e persianas. ....	71
Figura 34 – Diagrama de estados - funcionamento do sistema de deteção de eventos e geração de interrupções. ....	72
Figura 35 – Íman e sensores reed switch. ....	73
Figura 36 – Instalação do módulo no caso de estudo. ....	73
Figura 37 – Módulo protótipo de CO <sub>2</sub> . ....	74
Figura 38 – Dimensão do módulo de CO <sub>2</sub> . ....	75
Figura 39 – Módulo protótipo de T, HR, iluminância e movimento. ....	76
Figura 40 – Dimensão do módulo de T, HR, iluminância e movimento. ....	77
Figura 41 – Verificação dos sensores de T e HR do protótipo. ....	79
Figura 42 – Verificação dos sensores de iluminância do protótipo. ....	79
Figura 43 – Verificação dos sensores de CO <sub>2</sub> do protótipo. ....	79
Figura 44 – Registo diário do compartimento R1. ....	80
Figura 45 – Registo diário do compartimento K. ....	80
Figura 46 – Exemplo das séries temporais obtidas no compartimento R1 através dos registos diários. ....	81
Figura 47 – Exemplo da série temporal binária obtida no compartimento K através dos registos diários. ....	81
Figura 48 – Localização dos equipamentos de monitorização. ....	83
Figura 49 – Instalação da estação meteorológica no local. ....	86
Figura 50 – Valores médios horários da temperatura exterior. ....	86
Figura 51 – Valores médios horários da humidade relativa exterior. ....	87
Figura 52 – Valores médios horários da radiação solar global. ....	87
Figura 53 – Valores acumulados diários da precipitação. ....	87
Figura 54 – Tendência da direção do vento (gráfico da esquerda) e velocidade média/máxima diária por orientação em m/s (gráfico da direita). ....	88
Figura 55 – Evolução da temperatura exterior e interior (média dos sensores por compartimento) do período de 1 de julho de 2015 a 30 de junho de 2017. ....	97
Figura 56 – Evolução da humidade relativa exterior e interior (média dos sensores por compartimento) do período de 1 de julho de 2015 a 30 de junho de 2017. ....	98
Figura 57 – Evolução da pressão parcial de vapor de água e concentração de dióxido de carbono (média dos sensores por compartimento) do período de 1 de julho de 2015 a 30 de junho de 2017. ....	99
Figura 58 – Análise do conforto térmico no compartimento R1, norma EN-15251 (2007). ....	100

Figura 59 – Análise do conforto térmico no compartimento R2, norma EN-15251 (2007).	100
Figura 60 – Análise do conforto térmico no compartimento LR, norma EN-15251 (2007).	100
Figura 61 – Sensores utilizados no estudo do capítulo 4.	102
Figura 62 – Box-plots do parâmetro de temperatura obtido em cada sensor.	103
Figura 63 – Box-plots dos parâmetros de pressão parcial de vapor de água (esquerda) e concentração de CO <sub>2</sub> (direita) obtido em cada sensor.	103
Figura 64 – Metodologia utilizada no estudo para a detecção dos impactos dos ocupantes.	104
Figura 65 – Impactos da ação de abrir as janelas no compartimento R1 ao nível de $\Delta T_i$ e $\Delta P_i$ e $\Delta CO_{2i}$ .	107
Figura 66 – Impactos da ação de abrir as janelas no compartimento R1.	107
Figura 67 – Impactos da ação de abrir as janelas no compartimento R1 ao nível das RPH.	108
Figura 68 – Impactos da ação de abrir a janela no compartimento W1 ao nível de $\Delta T_i$ e $\Delta P_i$ .	109
Figura 69 – Coincidência temporal entre as ações “janela aberta - R1 e W1” e “tomar banho W1”.	110
Figura 70 – Impactos da ação de abrir a janela no compartimento W1.	110
Figura 71 – Impactos da ação de tomar banho no compartimento W1 ao nível de $\Delta T_i$ e $\Delta P_i$ .	112
Figura 72 – Coincidência temporal entre as ações “janela aberta R1” e “tomar banho W1”.	113
Figura 73 – Impactos da ação de tomar banho no compartimento W1.	113
Figura 74 – Impactos da ação de cozinhar no compartimento K ao nível de $\Delta T_i$ e $\Delta P_i$ .	115
Figura 75 – Impactos da ação de cozinhar no compartimento K.	116
Figura 76 – Impactos da ação de aquecer o compartimento LR ao nível de $\Delta T_i$ e consumo de energia.	117
Figura 77 – Impactos da ação de aquecer o compartimento LR.	118
Figura 78 – Estado da grelha de extração – fechado (esquerda) e aberto (direita).	119
Figura 79 – Valores das renovações horárias de ar no período noturno (0 às 9) no compartimento R1.	120
Figura 80 – Perfil de temperatura no compartimento R1 em períodos com e sem ocupação.	121
Figura 81 – Perfil de pressão de vapor de água no compartimento R1 em períodos com e sem ocupação.	121
Figura 82 – Perfil de temperatura no compartimento W1 em períodos com e sem ocupação.	122
Figura 83 – Perfil de pressão de vapor de água no compartimento W1 em períodos com e sem ocupação.	123
Figura 84 – Perfil de temperatura no compartimento K em períodos com e sem ocupação.	123
Figura 85 – Perfil de pressão de vapor de água no compartimento K em períodos com e sem ocupação.	124
Figura 86 – Perfil de temperatura no compartimento LR em períodos com e sem ocupação.	124
Figura 87 – Consumo médio com o aquecimento nos dias em que este foi ligado.	125
Figura 88 – Perfis tipo da concentração de CO <sub>2</sub> ao longo de 24h, em função do estado da grelha.	126

Figura 89 – Box-plot da concentração de CO <sub>2</sub> , no período noturno, em função do estado da grelha.	126
Figura 90 – Perfil de concentração de CO <sub>2</sub> no compartimento R1 em períodos sem ocupação. ....	127
Figura 91 – Comparação entre o modelo teórico de concentração de CO <sub>2</sub> e os valores monitorizados para a configuração da grelha fechada (esq.) e aberta (dir.). ....	128
Figura 92 – Curva teórica de CO <sub>2</sub> – esq. (grelha fechada) e dir. (grelha aberta). ....	128
Figura 93 – Perfis de temperatura média no compartimento R1 referente a diferentes períodos – 12 meses (superior esq.); 3 meses verão (superior dir.); 3 meses de inverno (inferior esq.); e 7 dias inverno (inferior dir.). ....	129
Figura 94 – Sensores utilizados no estudo do capítulo 5. ....	135
Figura 95 – Box-plots dos parâmetros monitorizados. ....	137
Figura 96 – Box-plots das ações/estados obtidos pelos registos dos ocupantes. ....	137
Figura 97 – Duração total diária das ações (h) ao longo do ano de estudo. ....	138
Figura 98 – Metodologia utilizada no estudo. ....	139
Figura 99 – Probabilidade de início da ação de aquecimento de acordo com o modelos de previsão através de regressões logísticas. ....	155
Figura 100 – Sensores utilizados para o estudo apresentado no capítulo 6.2. ....	160
Figura 101 – Box-plots da temperatura média dos sensores de cada compartimento. ....	161
Figura 102 – Box-plots da pressão de vapor de água média dos sensores de cada compartimento. ....	161
Figura 103 – Box-plots do excesso de pressão de vapor de água e concentração de CO <sub>2</sub> . ....	161
Figura 104 – Resumo do “R Package” - “change point” (Killick e Eckley 2014). ....	165
Figura 105 – Passos constituintes da metodologia proposta. ....	167
Figura 106 – Série temporal dos parâmetros considerados como potenciais indicadores em três dias consecutivos, incluindo a ocorrência das ações. ....	169
Figura 107 – Índice A e B antes e depois da aplicação dos critérios de refinamento. ....	172
Figura 108 – Índice A (esq.) e índice B (dir.) em função da precisão considerada para detetar ações na CPA. ....	173
Figura 109 – Validação da metodologia – R1 – abrir as janelas. ....	175
Figura 110 – Validação da metodologia – W1 – abrir as janelas. ....	175
Figura 111 – Validação da metodologia – W1 – tomar banho. ....	175
Figura 112 – Validação da metodologia – K – cozinhar. ....	176
Figura 113 – Validação da metodologia – LR – aquecer. ....	176
Figura 114 – Fluxograma da Etapa 01 – criação de base de dados. ....	179
Figura 115 – Fluxograma da Etapa 02 – algoritmo para deteção de ações. ....	181
Figura 116 – Exemplo de aplicação da metodologia das variações sucessivas com o “parâmetro variação” Var. T – A1. ....	184
Figura 117 – Exemplo de aplicação da metodologia das variações sucessivas com o “parâmetro variação” Var. P – A1. ....	184

Figura 118 – A1 – Parâmetros variação que cumprem os critérios imposto na equação (45) - Var. P (cima esq.) e Var. $\Delta P$ (cima dir.).	186
Figura 119 – A1 – Parâmetro variação que não cumpre os critérios imposto na equação (45) - Var. T.	186
Figura 120 – A2 – Parâmetros variação que cumprem os critérios imposto na equação (45) - Var. T (cima esq.), Var. $\Delta T$ (cima dir.), Var. P (baixo esq.) e Var. $\Delta P$ (baixo dir.).	187
Figura 121 – A2 – Parâmetro variação que não cumpre os critérios imposto na equação (45) - Var. $CO_2$ .	188
Figura 122 – A3 – Parâmetros variação que cumprem os critérios imposto na equação (45) - Var. T (cima esq.), Var. P (coma dir.), Var. $\Delta P$ (baixo.).	189
Figura 123 – A3 – Parâmetro variação que não cumpre os critérios imposto na equação (45) - Var. $\Delta T$ .	189
Figura 124 – A4– Parâmetros variação que cumprem os critérios imposto na equação (45) - Var. T (cima esq.), Var. P (cima dir.), Var. $\Delta P$ (baixo).	190
Figura 125 – A4– Parâmetro variação que não cumpre os critérios imposto na equação (45) - Var. $\Delta T$ .	191
Figura 126 – A5 – Parâmetros variação que cumprem os critérios imposto na equação (45) - Var. T (esq.), Var. $\Delta T$ (dir.).	191
Figura 127 – A5– Parâmetro variação que não cumpre os critérios imposto na equação (45) - Var. $\Delta P$ .	192
Figura 128 – Valores dos parâmetros A e C utilizados para validação.	193
Figura 129 – Probabilidade de ocorrência de banhos ao longo das 24h (Johansson, Pallin et al. 2010). I	
Figura 130 – Probabilidade de ocorrência de preparação de refeições ao longo das 24h (Johansson, Pallin et al. 2010).	II
Figura 131 – Probabilidade de ocorrência de lavagem da louça numa casa equipada com máquina (yes) ou não (no) ao longo das 24h (Johansson, Pallin et al. 2010).	III
Figura 132 – Probabilidade de ocorrência de utilização de máquina de lavar louça ao longo das 24h (Johansson, Pallin et al. 2010).	IV
Figura 133 – Probabilidade de ocorrência de utilização de ferro ao longo das 24h (Johansson, Pallin et al. 2010).	V
Figura 134 – Probabilidade de ocorrência de limpeza da casa ao longo das 24h (Johansson, Pallin et al. 2010).	V
Figura 135 – Perfil diário de utilização da máquina de lavar roupa (Hendron e Engebrecht 2010).	IX
Figura 136 – Perfil diário de utilização das máquinas de lavar louça (Hendron e Engebrecht 2010).	IX
Figura 137 – Perfil diário de uso de duches (Hendron e Engebrecht 2010).	IX
Figura 138 – Perfil diário de uso de banheiras (Hendron e Engebrecht 2010).	X
Figura 139 – Perfil diário de uso de lavatório (Hendron e Engebrecht 2010).	X
Figura 140 – Perfil diário de uso de iluminação (Hendron e Engebrecht 2010).	XI

Figura 141 – Método do decaimento – Compartimento W1 – Condições de VMC ligada e boca de extrator fechado.....	I
Figura 142 – Método do decaimento – Compartimento W1 – Condições de VMC ligada e boca de extrator meio aberto. ....	I
Figura 143 – Método do decaimento – Compartimento W1 – Condições de VMC ligada e boca de extrator aberta (máxima abertura). ....	II
Figura 144 – Método do decaimento – Compartimento W1 - Condições de VMC desligada e boca de extrator fechado.....	II
Figura 145 – Método do decaimento – Compartimento W1 - Condições de janela aberta.....	III
Figura 146 – Método do decaimento – Compartimento R1 - Condições de VMC ligada e boca de extrator aberto.....	III
Figura 147 – Método do decaimento – Compartimento R1 - Condições de VMC desligada e boca de extrator fechado.....	IV
Figura 148 – Método do decaimento – Compartimento R1 - Condições de janela aberta.....	IV
Figura 149 – Método do decaimento – Compartimento LR - Condições de VMC desligada. ....	V
Figura 150 – Método do decaimento – Compartimento LR - Condições de VMC ligada.....	V
Figura 151 – Método do decaimento – Compartimento LR – Porta interior aberta.....	VI
Figura 152 – Método do decaimento – Compartimento LR - Condições de janela aberta. ....	VI



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Qualificação dos coeficientes de correlação.....	33
Tabela 2 – Taxas de metabolismo de algumas atividades (ISO-8996 2004; ASHRAE-Fundamentals 2009). ....	39
Tabela 3 – Isolamento térmico de combinações de vestuário. ....	40
Tabela 4 – Produção de vapor de água em fontes típicas em edifícios residenciais (BS-5925 1991)...	47
Tabela 5 – Condições de referência para os poluentes microbiológicos (Portaria_n.º353-A/2013 2013). ....	48
Tabela 6 – Valores máximos de referência para alguns parâmetros químicos.....	49
Tabela 7 – Valores de eficiência Luminosa de lâmpadas comuns. ....	51
Tabela 8 – Classificação das habitações em função do valor de $DF_{\text{médio}}$ . ....	52
Tabela 9 – Estratégia de medição do comportamento dos ocupantes. ....	55
Tabela 10 – Características da habitação alvo de estudo. ....	64
Tabela 11 – Principais características dos equipamentos utilizados nos ensaios in-situ.....	65
Tabela 12 – Principais características dos sensores utilizados.....	67
Tabela 13 – Principais características da câmara climática Vötsch VC 4034 em ensaios com controlo de T e HR.....	68
Tabela 14 – Principais características dos sensores de deteção de estado das janelas e persianas. ....	71
Tabela 15 – Principais características dos sensores de $CO_2$ . ....	74
Tabela 16 – Principais características dos sensores de T, HR, iluminância e movimento. ....	77
Tabela 17 – Fotografia da localização dos equipamentos de monitorização. ....	83
Tabela 18 – Relação entre a estagnidade ao ar e a estratégia de ventilação.....	90
Tabela 19 – Características de gases traçadores [adaptado de (Cui et al. 2015)]. ....	91
Tabela 20 – Características de ventilação e infiltração dos compartimentos principais com ocupação diária.....	94
Tabela 21 – Caudais de ventilação e RPH mínimas para os compartimentos R1, LR e W1 (NP-1037-2 2009). ....	94
Tabela 22 – Comparação do conforto térmico nos três compartimentos. ....	96
Tabela 23 – Gráficos de dispersão entre os valores dos parâmetros $\Delta T_i$ e $\Delta P_i$ dos impactos da abertura das janelas na R1.....	106
Tabela 24 – Gráficos de dispersão entre os valores dos parâmetros $\Delta T_i$ e $\Delta P_i$ dos impactos da abertura de janela W1.....	109
Tabela 25 – Gráficos de dispersão entre os valores dos parâmetros $\Delta T_i$ e $\Delta P_i$ dos impactos do banho na W1.....	112
Tabela 26 – Gráficos de dispersão entre os valores dos parâmetros $\Delta T_i$ e $\Delta P_i$ dos impactos do ato de cozinhar. ....	114

Tabela 27 – Gráficos de dispersão entre os valores dos parâmetros $\Delta T_i$ dos impactos do ato de aquecer o compartimento LR. ....	116
Tabela 28 – Valores de RPH para diferentes estados da grelha de extração e funcionamento do VMC. ....	119
Tabela 29 – Nomenclatura das variáveis categóricas.....	134
Tabela 30 – Coeficientes de correlação de Spearman para os três períodos definidos. ....	141
Tabela 31 – Hierarquização das motivações para o início das ações estudadas.....	144
Tabela 32 – Coeficientes de Spearman obtidos para a relação da duração das ações com os parâmetros. ....	145
Tabela 33 – Correlações entre a duração da abertura das janelas e a temperatura exterior e radiação solar. ....	147
Tabela 34 – Correlações entre a duração das persianas e a temperatura exterior e radiação solar. ....	149
Tabela 35 – Correlações entre a duração do aquecimento e a temperatura exterior. ....	150
Tabela 36 – Resumo dos modelos de previsão.....	150
Tabela 37 – Resumo dos valores de qualificação do modelo.....	152
Tabela 38 – Hierarquização das motivações para o início das ações de acordo com as regressões logísticas.....	153
Tabela 39 – Probabilidade de início das ações de acordo com os modelos de previsão através das regressões logísticas. ....	156
Tabela 40 – Melhor configuração do CPA para cada uma das ações estudadas. ....	172
Tabela 41 – Índices A e B obtidos na validação da metodologia.....	177
Tabela 42 – Interpretação da matriz confusão.....	182
Tabela 43 – Índices A e B dados pelas equações (41) e (42), respetivamente. ....	185
Tabela 44 – Índices A e C obtidos no processo de verificação do algoritmo.....	192
Tabela 45 – Valores do parâmetros A e C utilizados para validação. ....	193
Tabela 46 – Matriz confusão das duas metodologias propostas.....	196
Tabela 47 – Exatidão das metodologias propostas.....	196
Tabela 48 – Probabilidade de ocorrência de duchas ao longo das 24h (Johansson, Pallin et al. 2010). ..	I
Tabela 49 – Duração média de duche (Johansson, Pallin et al. 2010). ....	I
Tabela 50 – Duração média e desvio padrão, máxima e mínima de banhos em diferentes estações (Johansson, Pallin et al. 2010).....	I
Tabela 51 – Produção de vapor de água de banhos e sauna (Johansson, Pallin et al. 2010).....	II
Tabela 52 – Produção de vapor de água médio na confeção de refeições (Johansson, Pallin et al. 2010). ....	III
Tabela 53 – Probabilidade de ocorrência de utilização de máquinas de lavar em diferentes habitações (Johansson, Pallin et al. 2010).....	III
Tabela 54 – Duração média de lavar louça à mão e produção de vapor de água (Johansson, Pallin et al. 2010). ....	IV

Tabela 55 – Produção de vapor de água médio da lavagem de louça à mão das diferentes refeições ou média diária (Johansson, Pallin et al. 2010).	IV
Tabela 56 – Duração média de lavar louça na máquina e produção de vapor (Johansson, Pallin et al. 2010).	V
Tabela 57 – Duração média de utilização de ferro e produção de vapor (Johansson, Pallin et al. 2010).	V
Tabela 58 – Produção de vapor na limpeza do chão (Johansson, Pallin et al. 2010).	VI
Tabela 59 – Produção de vapor de água da secagem de roupa (Johansson, Pallin et al. 2010).	VI
Tabela 60 – Probabilidade de existência de animais nas habitações e seu peso assim como produção média de vapor de água gerado (Johansson, Pallin et al. 2010).	VI
Tabela 61 – Probabilidade de existência de aquários nas habitações assim como produção média de vapor de água gerado (Johansson, Pallin et al. 2010).	VI
Tabela 62 – Probabilidade de existência de plantas nas habitações assim como produção média de vapor de água gerado (Johansson, Pallin et al. 2010).	VII
Tabela 63 – Produção de vapor de água gerado de diversas atividades numa habitação (Johansson, Pallin et al. 2010).	VII
Tabela 64 – Produção de vapor de água anual de diferentes tipos de habitações (Johansson, Pallin et al. 2010).	VII
Tabela 65 – Duração e probabilidade de ocorrência de diversas atividades numa habitação assim como produção média de vapor de água gerado (Johansson, Pallin et al. 2010).	VIII
Tabela 66 – Cinco principais fontes de produção de humidade (Johansson, Pallin et al. 2010).	VIII



## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Símbolo	Unidade	Designação
$\alpha$	-	Constante da função logística relacionada com a interceção
$\beta$	-	Constante da função logística relacionada com a inclinação
$\gamma$	m <sup>2</sup>	Superfície do corpo humano
$\rho$ (Ai)	-	Probabilidade da ação i (Ai) ocorrer
$\Delta\text{CO}_2\text{i}$	ppm	Diferença entre valores de concentração de dióxido de carbono medidos no interior, pelo mesmo sensor em intervalos sucessivos
$\Delta P$	Pa	Diferença de pressão parcial de vapor de água entre o interior e o exterior
$\Delta P_i$	Pa	Diferença entre valores de pressão parcial de vapor de água medidos no interior, pelo mesmo sensor, em intervalos sucessivos
$\Delta T$	°C	Diferença de temperatura entre o interior e o exterior
$\Delta T_i$	°C	Diferença entre valores de temperatura medidos no interior, pelo mesmo sensor, em intervalos sucessivos
A	-	Coeficiente em função da velocidade do ar
Ci	ppm	Concentração inicial do gás traçador
Cext	ppm	Concentração exterior do gás traçador
CO <sub>2</sub>	ppm	Partes por milhão de dióxido de carbono
C(t)	ppm	Concentração do gás traçador em função do tempo
Desc.	°C	Somatório dos graus hora de desconforto nos meses de arrefecimento
DF	-	Daylight factor - Fator luz do dia
DV	°	Direção do vento
El	lm/W	Eficiência luminosa
Fl	lm	Fluxo luminoso
G	cm <sup>3</sup> /s	Produção interior do gás traçador
h	m	altura
H	W	Produção interna de calor no corpo humano
HA	kg/kg	Humidade Absoluta
HR	%	Humidade Relativa
I	lx	Iluminância
Icl	clo	Isolamento térmico do vestuário
Il	cd	Intensidade luminosa
k	W.°C	Coeficiente da produção de CO <sub>2</sub>

L	cd/m <sup>2</sup>	Luminância
m	W/m <sup>2</sup>	Taxa de metabolismo
M	met	Taxa de metabolismo
Nocup	-	N.º de ocupantes da habitação
RPH <sub>50</sub>	h <sup>-1</sup>	Número de renovações horárias com um diferencial de pressão de 50Pa
RS	W/m <sup>2</sup>	Radiação solar global
Rt	m <sup>2</sup> .°C/W	Resistência térmica
P	Pa	Pressão parcial de vapor de água
Pr	mm	Precipitação
Q	m <sup>3</sup> /s	Trocas de ar entre o interior e o exterior
Qmin	l/s	Caudal mínimo
RPH	h <sup>-1</sup>	Renovações de ar por hora
t	s	Tempo
T	°C	Temperatura do ar
t <sub>d,i</sub>	°F	temperatura interior de projeto
t <sub>d,e</sub>	°F	temperatura exterior de projeto
tep	tep	Toneladas equivalente de petróleo
Tmp	°C	Temperatura exterior média ponderada
Tmhi	°C	Temperatura média horária interior
Tn-i	°C	Temperatura média exterior do dia “i” anterior ao de cálculo
To	°C	Temperatura operativa
Trad	°C	Temperatura média radiante
U	W/m <sup>2</sup> .K	Coefficiente de transmissão térmica
V	m <sup>3</sup>	Volume do compartimento
Var	m/s	Velocidade do ar no interior
Var. CO <sub>2</sub>	%	Parâmetro variação da concentração de CO <sub>2</sub> , entre intervalos sucessivos
Var. T	%	Parâmetro variação da temperatura, entre intervalos sucessivos
Var. ΔT	°C	Parâmetro variação da diferença de temperatura entre o interior e exterior, entre intervalos sucessivos
Var. P	%	Parâmetro variação da pressão parcial de vapor de água, entre intervalos sucessivos
Var. ΔP	Pa	Parâmetro variação da diferença de pressão parcial de vapor de água entre o interior e exterior, entre intervalos sucessivos
VV	m/s	Velocidade do vento

X	-	Variável da função logística à qual se pretende relacionar a probabilidade de ocorrer uma ação
w	kg	Peso
W	W	Trabalho mecânico realizado

<b>Abreviatura</b>	<b>Designação</b>
--------------------	-------------------

Ai	Ações do quotidiano – Activities of Daily Living
ADL	
A1	Ação de operar as janelas no compartimento R1 do caso de estudo
A2	Ação de operar as janelas no compartimento W1 do caso de estudo
A3	Ação de tomar banho no compartimento W1 do caso de estudo
A4	Ação de cozinhar no compartimento K do caso de estudo
A5	Ação de aquecimento no compartimento LR do caso de estudo
A6	Ação de regular a abertura da grelha de ventilação no compartimento W1 do caso de estudo
A7	Ação de operar as janelas no compartimento R2 do caso de estudo
A8	Ação de operar as janelas no compartimento W2 do caso de estudo
A9	Ação de operar as janelas no compartimento LR do caso de estudo
A10	Ação de operar as persianas no compartimento R1 do caso de estudo
A11	Ação de operar as persianas no compartimento R2 do caso de estudo
A12	Ação de operar as persianas no compartimento LR do caso de estudo
AIC	Akaike Information Criterion
AIIB	Asian Institute of Intelligent Buildings
AMOC	At Most One Change
ARC	After the Refinement Criterion
ASHRAE	Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado
ASTM	American Society for Testing and Materials
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
Ban	Ocorrência prévia de banho
BAS	Building Automation System
BDAções	Base de dados de parâmetros monitorizados apenas no momento da ocorrência de determinada ação Ai
BDACriação	Base de dados de parâmetros monitorizados apenas no momento da ocorrência de determinada ação Ai utilizados para a criação do algoritmo

BDAVerificação	Base de dados de parâmetros monitorizados apenas no momento da ocorrência de determinada ação Ai utilizados para a verificação do algoritmo
BDTotal	Base de dados total dos parâmetros monitorizados
BDTreino	Base de dados obtida a partir da BDTotal, contendo a BDAções e os parâmetros monitorizados nos outros instantes onde não estão ocorreram ações
BDTCriação	Metade da BDTreino usado para a criação do algoritmo
BDTVerificação	Metade da BDTreino usado para a verificação do algoritmo
BIC	Bayes Information Criterion
BinSeg	Binary Segmentation
BMS	Building Management System
BP	Building Performance
BRC	Before the Refinement Criterion
BRI	Building Related Illness
C1	Corredor da parte social do caso de estudo
C2	Corredor da parte privativa do caso de estudo
CEN	Comité Européu de Normalização
CIE	Commission internationale de l'éclairage
CIBSE	Chartered Institution of Building Services Engineers
CPA	Change Point Analysis
CSS	Cumulative Sum of Squares
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
DNAS	Enquadramento bibliográfico do comportamento dos ocupantes de edifícios – motivações (drivers), necessidades (needs), ações (actions) e sistemas (systems)
DR	Compartimento da sala principal do caso de estudo
DSF	Double Skin Façade
E	Energia
EI	Edifícios Inteligentes
EMS	Energy Management Systems
EPBD	Diretiva Europeia sobre o Desempenho Energético
HMM	Hidden Markov Models
IBG	Intelligent Building Group
IBI	Intelligent Building Institute
INE	Instituto Nacional de Estatística
Inv	Período do ano correspondente à estação de Inverno



ISO	International Organization for Standardization
JIBI	Japanese Intelligent Buildings
K	Compartimento da cozinha do caso de estudo
KDD	Knowledge Discovery in Databases
L	Compartimento da lavanderia do caso de estudo
LR	Compartimento da saleta do caso de estudo
MCMC	Markov Chain Monte Carlo
MLE	Likelihood-ratio
MO	Mudança do estado de ocupação
NA	Número de ações que realmente ocorreram
NACD	Número de ações corretamente detetadas
NDA	Número de ações detetadas
NDIR	Non Dispersive Infrared
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
O	Estado de ocupação (ocupado ou desocupado)
OMS	Organização Mundial de Saúde
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PELT	Power of the Pruned Exact Linear Time
PIR	Passive Infrared
PD	Período do dia (dia ou noite)
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied
QAI	Qualidade do ar interior
QEM	Quality Environment Modules
R1	Compartimento do quarto principal do caso de estudo
R2	Compartimento do quarto secundário do caso de estudo
REL	Reference Exposure Level
RTC	Real Time Clock
SBS	Sick Building Syndrome
SegNeigh	Segment Neighborhood
SIC	Schwartz Information Criterion
STEL	Short Term Exposure Limit
THW	Temperatura que inclui o efeito do vento para na sua percepção

TIC	Tecnologias da informação e comunicação
Trans	Período do ano correspondente às estações de Primavera e Outono
TRY	Ano climático de referência – test reference year
TWA	Time-Weighted Average
UE	União Europeia
UV	Ultra violetas
Ver	Período do ano correspondente à estação de Verão
VMC	Ventilação Mecânica Centralizada
VOC	Volatile Organic Compound
W1	Compartimento da instalação sanitária do quarto principal do caso de estudo
W2	Compartimento da instalação sanitária de apoio ao R2 e LR do caso de estudo
W3	Compartimento da instalação sanitária social do caso de estudo

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. MOTIVAÇÃO

O consumo de energia pode ser dividido por setor de atividade sendo que a cota dos edifícios varia, situando-se próximo dos 40% nos Estados Unidos da América (EUA) e Europa (2010/31/EU 2010) e em cerca de 30% na generalidade dos países do sul da Europa dos quais Portugal faz parte (Garrido-Soriano et al. 2012; INE e DGEG 2011), Figura 1. Em Portugal, de acordo com os dados obtidos pelo inquérito INE e DGEG (2011), a maior fatia do consumo de energia em toneladas equivalente de petróleo (tep) está na cozinha com uma percentagem de 39,1%, seguindo-se o aquecimento de águas quentes sanitárias com 23,5%, o aquecimento do ambiente com 21,5% e os eletrodomésticos com 10,9% (Figura 2).

Por imposição da UE, os estados membros terão que transpor para a regulamentação interna a Diretiva Europeia sobre o Desempenho Energético (EPBD) transcrita na Diretiva 2010/31/EU (2010). Esta diretiva veio substituir a anterior (2002/91/CE 2002) estabelecendo um conjunto de metas para cumprir até 2020 que implicam uma redução dos consumos de energia e emissões de CO<sub>2</sub> em 20% e um peso mínimo de 20% das energias renováveis como fonte de energia. Entre as medidas sugeridas pela Diretiva 2010/31/EU (2010) está o incremento do uso de sistemas de controlo ativos e sistemas inteligentes que potenciem a eficiência energética dos edifícios novos ou alvo de grandes renovações. Em particular, a EPBD fomenta a utilização de “sistemas de automatização, controlo e monitorização, destinados a poupar energia”. Foi publicada este ano a nova Diretiva 2018/844/EU que veio alterar a Diretiva 2010/31/EU e a Diretiva 2012/27/EU (2018/844/EU 2018), reforçando a necessidade de os Estados-Membros apoiarem as melhorias do desempenho energético dos edifícios existentes que contribuam para a consecução de um ambiente interior saudável. A nova diretiva também enfatiza a importância de se incluírem sistemas e automação nos edifícios com o objetivo de reduzir as necessidades de energia para HVAC e iluminação melhorando o conforto térmico e visual. Uma nova característica desta diretiva é o indicador de inteligente que encoraja o uso de tecnologias de informação e comunicação (TIC) e sistemas eletrónicos para adaptar a operação dos edifícios às necessidades dos ocupantes e da rede e melhorar a eficiência energética e o desempenho geral de edifícios (2018/844/EU 2018).

De acordo com a bibliografia (Clements-Croome 2004; Wang 2010), só se alcança a verdadeira inteligência nos edifícios quando estes respeitam as exigências dos seus ocupantes, recorrendo à menor quantidade de energia possível. De modo a que as exigências dos ocupantes sejam respeitadas é primeiro necessário conhecer o seu comportamento e a forma como este influencia o espaço interior de uma fração residencial. Considera-se, por isso, o estudo do comportamento dos ocupantes dos edifícios residenciais, uma área de grande importância e cujos resultados serão a base de eventuais modos de funcionamento dos edifícios inteligentes (EI). Por outro lado, o comportamento dos ocupantes é

amplamente reconhecido como sendo um fator preponderante para a existência de incerteza no desempenho dos edifícios (Yan et al. 2015). Diversos estudos analisaram o efeito dos ocupantes, indicando-se o estudo realizado por Sonderegger (1978) como um dos primeiros a ser realizado no qual se chegou a um valor de 33% para a contribuição do comportamento dos ocupantes para o consumo total da energia. Estudos mais recentes sobre a temática apontam para contribuições na ordem dos 20% (Kleiminger, Mattern, e Santini 2014; Lu, Sookoor, et al. 2010; Messerve et al. 2010; Gao e Whitehouse 2009), enquanto os autores Guerra Santin, Itard, e Visscher (2009) encontraram contribuições inferiores a 10% e os outros autores (Gram-Hanssen 2010; D'Oca et al. 2014) contribuições superiores a 50%. No que respeita à influência dos ocupantes na ventilação dos edifícios, Kvisgaard e Collet (1986), descobriram que as ações dos ocupantes providenciam 63% do total das renovações de ar por hora (RPH) das habitações estudadas com ventilação natural. Essas ações corresponderam maioritariamente ao manuseamento de portas e janelas. Num estudo similar, Iwashita e Akasaka (1997), encontraram uma relação direta entre a influência dos ocupantes e o RPH das habitações com contribuições que atingiram os 87%, devido a diferentes padrões dos ocupantes no manuseamento das janelas e portas. Os autores Wallace, Emmerich, e Howard-Reed (2002) demonstraram que a abertura típica de janelas afeta o valor das RPH em  $1 \text{ h}^{-1}$  e Pereira et al. (2017) quantificaram o impacto de algumas ações dos ocupantes num edifício, encontrando contribuições até  $4 \text{ h}^{-1}$ . Estes valores foram obtidos em estudos de diferentes localizações e diferentes climas, não podendo ser comparadas entre si dando, no entanto, uma ideia sobre o impacto que os ocupantes podem ter numa habitação.

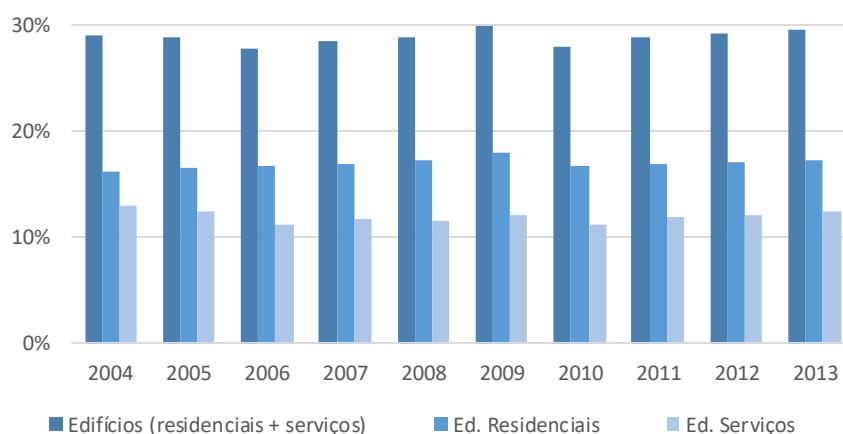


Figura 1 – Evolução do consumo de energia do setor dos edifícios em Portugal [adaptado INE e DGEG (2011)].

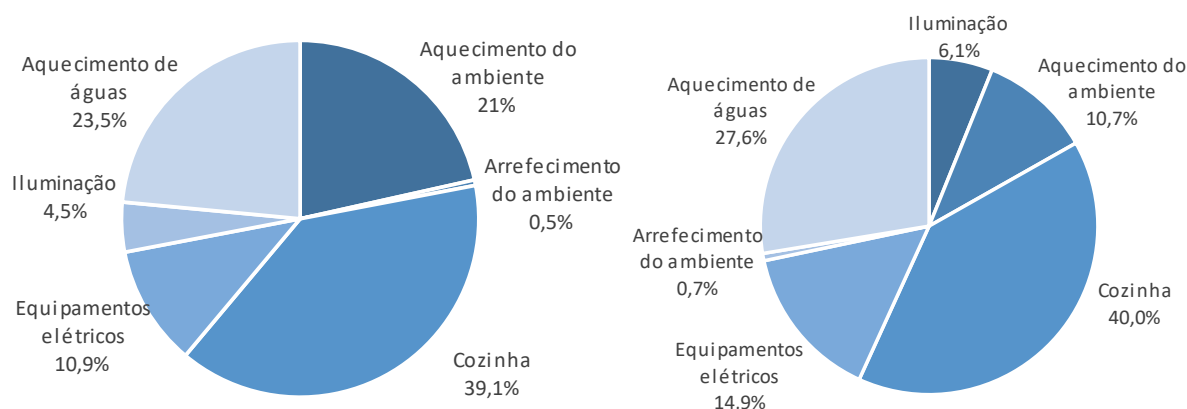


Figura 2 – Distribuição do consumo de energia (tep) por tipo de utilização (esq.) e distribuição da despesa com energia (€) por tipo de utilização [adaptado INE e DGEG (2011)].

A investigação relacionada com o comportamento dos ocupantes dos edifícios residenciais e o seu impacto nos mesmos, tem vindo a merecer o estudo de diversos autores (D'Oca, Hong, e Langevin 2018), tendo-se registado um aumento do número de estudos nos últimos anos (Figura 3). As principais motivações para o estudo desta temática estão relacionadas com duas situações distintas (Jia, Srinivasan, e Raheem 2017; Hong et al. 2017):

- Necessidade de otimizar os sistemas de automatização de edifícios, “building automated systems” (BAS) | sistemas de gestão de energia, “energy management systems” (EMS) | sistemas de gestão de edifícios, “building management systems” (BMS), adaptando-os aos hábitos dos ocupantes em função do consumo energético, qualidade do ar interior (QAI), conforto térmico e dos hábitos dos ocupantes;
- Necessidade de diminuir o desfazamento entre os resultados dos programas de simulação numérica e os desempenhos reais dos edifícios.

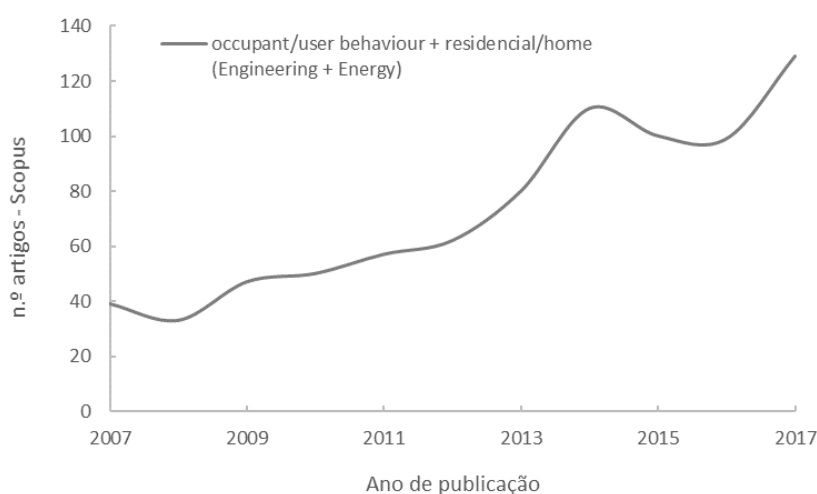


Figura 3 – Evolução dos estudos do comportamento dos ocupantes em edifícios residenciais – fonte Scopus.

De acordo com Hong et al. (2015), devido ao crescente interesse dos investigadores nesta área de estudos, existiu a necessidade de organizar a área em temáticas, o que levou à criação de uma ontologia para representar o comportamento dos ocupantes em edifícios. Deste modo, os autores criaram um enquadramento da investigação dividido por quatro áreas: motivações (drivers), necessidades (needs), ações (actions) e sistemas (systems), originando a sigla DNAS (Figura 4). Nestas quatro áreas, as motivações são compreendidas como os fatores ambientais percebidos pelos ocupantes no mundo exterior que provocam um estímulo no seu mundo interior para cumprir uma necessidade física, psicológica ou fisiológica. Assim, as necessidades são os requisitos nas três dimensões referidas no mundo interior do ocupante que precisam de ser cumpridos de modo a que o ocupante se sinta satisfeito no ambiente onde está inserido. As ações surgem então como a forma que o ocupante tem de cumprir as suas necessidades, fazendo assim a ponte entre o mundo interior e o exterior através da interação com os sistemas devido a uma necessidade sua. Os sistemas são por isso os equipamentos ou os mecanismos pertencentes ao ambiente construído do edifício que podem ser manuseados pelo ocupante para influenciar o ambiente interior.

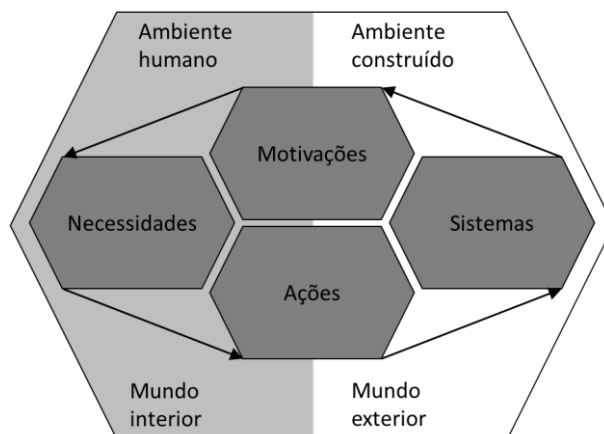


Figura 4 – Enquadramento da investigação do comportamento dos ocupantes dos edifícios [adaptado de Hong et al. (2015)].

## 1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal desta Tese de Doutoramento é o desenvolvimento e implementação de metodologias que permitam o aumento do conhecimento do comportamento dos ocupantes de edifícios residenciais, possibilitando o alavancamento funcional dos edifícios, dotando-os de inteligência. Esse aumento de conhecimento é fundamental para, na fase de operação, dotar os sistemas de gestão centralizada dos edifícios de mecanismos de compreensão das ações, motivações e impactos dos ocupantes nos edifícios a nível energético e de ambiente interior (comportamento higrotérmico e de ventilação).

Para garantir que o objetivo principal possa ser cumprido, deve ser alcançado um conjunto de objetivos intermédios, incluindo:

- Desenvolver um sistema de monitorização preciso, fiável e de baixo custo para avaliar o comportamento dos ocupantes e os parâmetros do ambiente interior de edifícios habitacionais;
- Desenvolver metodologias baseadas em modelos matemáticos e estatísticos para interpretar os parâmetros monitorizados e extrair conhecimento sobre o comportamento dos ocupantes ao nível das suas ações;
- Identificar e hierarquizar as motivações que os ocupantes possuem para executarem determinadas ações;
- Utilizar modelos matemáticos e estatísticos para prever o comportamento dos ocupantes em edifícios habitacionais em função das suas motivações;
- Quantificar os impactos das ações dos ocupantes num edifício residencial em função da distância ao foco da ação;
- Desenhar perfis médios do comportamento dos ocupantes que possam ser usados em sistemas de domótica da fração em que são aplicados de modo a ser possível antecipar, corrigir ou substituir os ocupantes em determinadas funções, aumentando a qualidade do ar e o conforto térmico em função dos requisitos específicos dos próprios ocupantes.

## 1.3. ESTRUTURA DO TEXTO

O texto está dividido em 7 partes:

- Capítulo 1 – Introduz o trabalho, com referência à motivação e aos objetivos do mesmo;

- Capítulo 2 – Descreve o estado da arte ao nível das áreas de maior importância em função dos objetivos da tese. Neste capítulo procurou descrever-se o estado da arte, iniciando-se com as definições e princípios dos edifícios inteligentes e o comportamento dos seus ocupantes ao nível das suas ações, motivações, impactos e à sua modelação. Foram também abordados os principais requisitos dos ocupantes dos edifícios residenciais;
- Capítulo 3 – Sistematiza a metodologia usada neste trabalho de doutoramento. É ainda apresentado o caso de estudo, a infraestrutura de monitorização utilizada e os protótipos de monitorização desenvolvidos no âmbito deste trabalho;
- Capítulo 4 – Corresponde à avaliação quantitativa dos impactos que os ocupantes têm no ambiente interior do edifício devido às ações que realizam no seu interior. Foram avaliados os impactos ao nível da temperatura, humidade relativa, concentração de CO<sub>2</sub> e renovação do ar por hora. Em função dos dados de monitorização foi possível criar perfis dos ocupantes.
- Capítulo 5 – Apresenta a determinação e hierarquização das motivações dos ocupantes para desempenharem determinadas ações. Em função das motivações encontradas, criaram-se modelos de previsão para a ocorrência das ações;
- Capítulo 6 – Revela as duas metodologias originais desenvolvidas neste trabalho para se detetar as ações dos ocupantes tendo por base os parâmetros monitorizados no ambiente interior da fração ao nível da temperatura (T), humidade relativa (HR) e concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>);
- Capítulo 7 – Sintetiza as principais conclusões de cada um dos capítulos anteriores e perspetiva os desenvolvimentos futuros deste trabalho.





## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1. ENQUADRAMENTO

O presente trabalho iniciou-se com uma pesquisa bibliográfica de modo a recolher-se informação sobre o estado da arte de algumas áreas que se consideraram importantes para se definir o posicionamento desta tese de doutoramento. Nos subcapítulos seguintes apresenta-se o estado da arte das seguintes áreas:

- Inteligência nos edifícios para os adaptar aos ocupantes;
- Monitorização dos ocupantes dos edifícios;
- Motivações para as ações dos ocupantes dos edifícios;
- Impactos do comportamento dos ocupantes dos edifícios;
- Modelação do comportamento dos ocupantes dos edifícios.

A forma de interligação destas áreas pode ser observada no esquema da Figura 5.

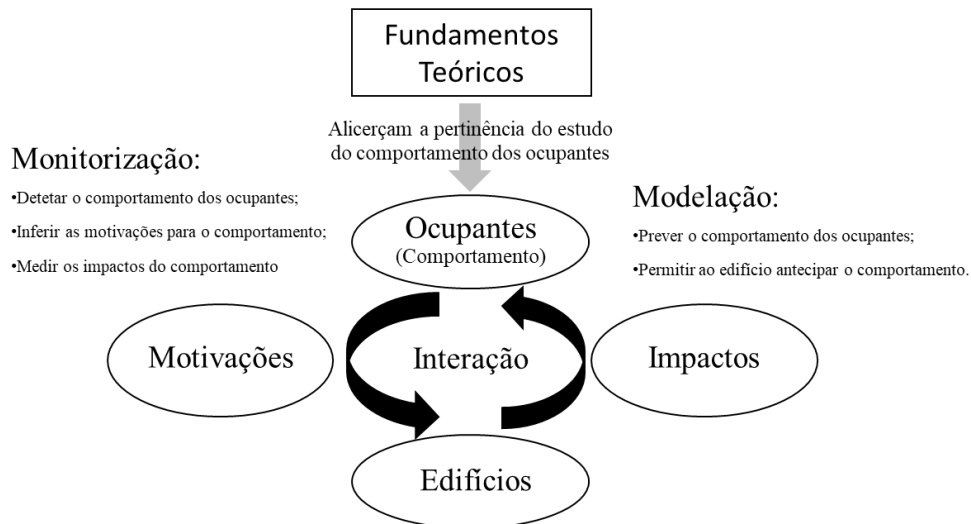


Figura 5 – Interligação entre as áreas alvo de estudo no estado da arte.

### 2.2. EDIFÍCIOS INTELIGENTES ADAPTADOS AOS OCUPANTES

#### 2.2.1. CONCEITO DE EDIFÍCIO INTELIGENTE

A palavra “inteligência” tem na sua origem etimológica o termo “inteligere” do latim. Esta é uma palavra que é composta por dois termos: íntus (“dentro / entre”) e lègere (“escolher”). Assim, devido à origem

etimológica da palavra, está intrínseco o conceito de capacidade de escolha entre várias opções em função dos objetivos do decisor. Enquanto objeto de estudo filosófico o conceito de inteligência sofreu diversas alterações pela sua estreita ligação com os contextos sociopolíticos e ideológicos, assumindo versões diferentes em função das capacidades enaltecidas por cada sociedade em diferentes épocas. É possível ainda obter-se conceitos diferentes de inteligência na mesma época e sociedade de pessoas pertencentes a áreas diferentes (Afonso 2007).

Há, no entanto, outro tipo de inteligência desligada das ciências naturais e por isso da sociologia, a Inteligência Artificial. De acordo com Winston (1993), a inteligência artificial é o estudo computacional que torna possível a percepção, o raciocínio e a ação. Deste modo pode-se referir que a grande diferença da inteligência artificial face à inteligência humana é o foco nos meio computacionais, sendo por sua vez diferente de outros estudos ligados à ciência dos computadores por se pretender que as máquinas dotadas de inteligência que percecionem, raciocinem e atuem de acordo com uma aprendizagem automática. Existem outras definições de inteligência artificial tendo os autores Russel e Norvig (2003) decidido agrupar em quatro quadrantes as suas definições. Os autores encontraram definições que diziam respeito ao processo de pensamento e raciocínio e outras definições que se debruçavam mais na ação em si. Foram encontradas ainda duas variantes, definições que ligavam a inteligência artificial a uma tentativa de simular a inteligência humana e outras que ligavam a inteligência artificial à inteligência mais racional, que nem sempre é a humana.

A área de estudos dos edifícios inteligentes (EI), embora atual, não é nova. Considera-se que o início das discussões sobre este tema, pelo menos teóricas, remontam à década de 80. No dia 1 de dezembro de 1983, o jornal New York Times (Marcus 1983) noticia a abertura do primeiro edifício inteligente no mundo em Hartford Connecticut, em janeiro do ano seguinte. Tratava-se de um edifício de escritórios chamado “Cityplace”. O edifício possuía uma área útil de cerca de 0,12 km<sup>2</sup>. A inteligência do edifício significava que os seus serviços seriam controlados por um sistema de computadores e ligados por uma rede de fibra ótica que atravessava o seu núcleo. Funções como o aquecimento, ventilação, iluminação, transporte, segurança, proteção contra incêndio e, mais importante, as telecomunicações e os serviços eletrónicos de escritório seriam integrados, proporcionando economias na construção e gestão do edifício (So e Chan 1999). No dia 13 de maio de 1984 o mesmo jornal escreveu um artigo descrevendo o conceito de uma nova geração de edifícios com capacidade para pensarem por eles próprios. Este artigo descrevia uma casa que controlava a temperatura, a iluminação e alguns elementos construtivos do edifício de acordo com a ocupação e as exigências dos ocupantes (Sinopoli 2010).

Desde o início das discussões nesta temática que a definição e o campo de aplicação têm vindo a ser alterados, devido principalmente ao desenvolvimento de tecnologias relevantes e às necessidades de mudança do ambiente construído. De modo sintético, a história dos EI pode ser resumida a:

- Até 1985: edifícios inteligentes são edifícios controlados automaticamente para a função;
- De 1986 a 1991: edifícios inteligentes são edifícios capazes de responder às necessidades de mudança;
- Após 1992 até ao presente: edifícios inteligentes são edifícios com características que satisfazem efetivamente as necessidades de mudança.

Na cronologia resumida, supracitado, está referida a mudança de âmbito, não podendo deixar de ser referido que o conceito e a abrangência dos EI ainda não está completamente estabilizado nem parametrizado. A discussão tem-se alargado durante décadas, tendo-se incluído novas tecnologias, novas plataformas de interface e ampliado a área de influência da automação dos edifícios sem se ter conseguido padronizar o campo de atuação da inteligência do edifício. Dificilmente se chegará a uma

estabilização da evolução uma vez que, por serem edifícios que incorporam tecnologia e esta ser das áreas mais criativas e inovadoras de todas, tal não se afigure plausível (Wang 2010).

A definição de EI é então considerada vasta e controversa, tendo o autor Wigginton e Harris (2002) encontrado em 2002 cerca de 30 definições de inteligência relacionada com os edifícios. Em termos evolutivos, os autores Wong, Li, e Wang (2005) consideram que as primeiras definições de EI centravam-se nos aspetos meramente tecnológicos dos edifícios e não era referida a interação com os ocupantes. Esta visão puramente tecnológica tem sido criticada por diversos investigadores desde meados dos anos 80 surgindo variantes desta visão que apoiavam que os EI deveriam responder aos requisitos dos ocupantes.

Na atualidade existem alguns grandes grupos de investigação dos edifícios inteligentes, que se descrevem nos parágrafos seguintes.

De acordo com o Intelligent Building Institute (IBI), um EI é aquele que proporciona um ambiente produtivo e economicamente eficiente através da otimização de quatro componentes base e da sua interligação:

- Estrutura;
- Sistemas;
- Serviços;
- Gestão.

Assim, a interligação dos quatro elementos dos EI tem como objetivo a satisfação das necessidades dos ocupantes e donos dos edifícios consumindo os menores recursos possíveis. Devido à estreita ligação de um EI com as necessidades dos ocupantes/proprietários, não é crível que se atribua a classificação de EI por estes não possuírem uma lista de características mínimas elegíveis. De acordo com o IBI, a única característica que os edifícios inteligentes possuem é uma estrutura desenhada para admitir mudanças com um custo controlado (So e Chan 1999; Wang 2010).

De acordo com o Intelligent Building Group (IBG), sediado em Londres, um EI é aquele que cria um ambiente que maximiza a produtividade dos ocupantes do edifício sem que paralelamente se comprometa a eficiente gestão dos recursos e dos custos no seu tempo de vida. Desde conceito retira-se a ideia que um EI é aquele que incorpora os melhores conceitos disponíveis, materiais, sistemas e tecnologias de integração para alcançar um edifício que atende ou excede os requisitos de desempenho dos *stakeholders* do edifício, que incluem os proprietários e ocupantes, bem como a comunidade local e global. (So e Chan 1999; IBG 2014; Wang 2010)

De acordo com o Japanese Intelligent Buildings (JIBI) (Wang 2010), um EI dispõe de serviços de comunicação e automação convenientes para o uso dos ocupantes. Os aspetos fundamentais do JIBI são os seguintes:

- Garantir a satisfação e o conforto das pessoas a trabalhar em espaços interiores;
- Racionalizar a gestão dos edifícios para proporcionar serviços administrativos mais atrativos a baixo preço;
- Capacidade de mudança rápida, flexível e económica face às alterações sociológicas do meio, meios de trabalhos diversificados e complexos e estratégias de negócios;
- Servir de lugar para receber e transmitir informações e apoiar uma gestão eficiente.

De acordo com o projeto europeu Smart Accelerate (Nikolaou et al. 2004), os EI são aqueles que fornecem um ambiente económico e tecnicamente eficiente através da otimização dos seus quatro componentes básicos: estrutura; sistemas; serviços e gestão, tendo como preocupação a inter-relações entre eles para se atingir:

- O benefício dos proprietários e as suas exigências para o conforto interior do edifício;
- A maximização da eficiência dos ocupantes;
- A gestão eficaz de recursos com custos de ciclo de vida mínimos;
- A facilitação da administração do edifício e otimizar o impacto ambiental e económico devido às alterações introduzidas no ambiente interior.

A definição de EI na China e em Singapura (So e Chan 1999) implica o cumprimento de certas características, tendo que possuir:

- Sistemas automáticos de controlo para monitorizar várias instalações;
- Infraestrutura de dados de modo a que possa existir fluxo de informação entre os pisos;
- Instalações de telecomunicações adequadas.

De acordo com So e Chan (1999) e Wang (2010) os EI são etiquetados como “3A” ou “5A”, caso estes possuam três ou cinco funções automáticas:

- Comunicação automática;
- Automação no escritório;
- Automação na gestão do edifício;
- Sistema de deteção de incêndio;
- Automação no sistema de manutenção.

Os autores do International Building Index (Wong, So, e Leung 2005) indicam que o modelo japonês é o mais indicado para se alcançar uma uniformização dos EI a nível global. Neste sentido o Asian Institute of Intelligent Buildings (AIIB) decidiu criar uma estratégia para classificar os edifícios inteligentes estratificada em 10 níveis, os *Quality Environment Modules* (QEM) (Wong, So, e Leung 2005):

- M1: sustentabilidade ambiental, focando a saúde e a conservação de energia;
- M2: utilização dos espaços e flexibilidade;
- M3: otimização de custos;
- M4: conforto humano;
- M5: eficiência no trabalho;
- M6: segurança;
- M7: cultura;
- M8: sensação de avanço tecnológico;
- M9: estrutura e processo de construção;
- M10: higiene e saúde.

Cada um dos 10 níveis possui um número de aspetos chave hierarquicamente ordenados a nível de prioridade. Desta forma, os autores redefinem o conceito de EI como sendo aquele em que a conceção e construção deverão estar baseadas na seleção rigorosa dos QEM de modo a alcançar-se os requisitos dos ocupantes. De acordo com o autor, esta nova definição tem duas vertentes:

- Tecnologia;
- Necessidades dos ocupantes.

De acordo com Sinopoli (2010), os EI implicam a instalação e uso de sistemas de tecnologia avançada e integrada nos edifícios. Estes sistemas devem incluir os seguintes campos:

- Automação dos edifícios;
- Segurança;
- Telecomunicações;
- Interfaces com os ocupantes;

- Sistemas de gestão das instalações.

Segundo o autor Sinopoli (2010), a forma tradicional de construir faz com que cada sistema seja tratado individualmente sem que haja interligação ou integração dos diversos sistemas, sendo esta a principal diferença face aos EI. A criação de um EI começa no projeto onde se pode reduzir as infraestruturas de cada um dos diversos sistemas pela sua integração. Os EI são também apontados como essenciais para se atingir as redes elétricas inteligentes.

Devido às diferentes e por vezes contraditórias formas de idealizar os EI, o autor Wang (2010) optou por agrupar as abordagens aos EI em três categorias:

- Desempenho;
- Serviços;
- Sistemas.

As abordagens baseadas no desempenho são aquelas que definem os EI pela listagem das exigências que cada edifício deve ter. Nesta abordagem é fácil a perceção da importância que os ocupantes têm na definição das exigências. Esta filosofia dá mais importância ao desempenho dos edifícios e às exigências dos ocupantes que propriamente os sistemas e a tecnologia que é usada. Nesta abordagem é importante que os projetistas e os promotores planeiem bem que tipo de edifícios pretendem construir e que tipo de exigências terão os futuros ocupantes. Os projetistas devem ter a consciência de que será essencial assegurar os requisitos crescentes dos ocupantes e de outros *stakeholders*, como por exemplo as crescentes preocupações ambientais. Defende-se que este tipo de edifício deverá ter a capacidade de se adaptar e responder de forma rápida às exigências do interior, mas também em função do exterior assim como das expectativas dos ocupantes. Inserem-se nesta abordagem os princípios defendidos pelo IBG e IBI. Contudo, os autores Wong, Li, e Wang (2005) defendem que as definições de cada um destes institutos acerca dos EI são diferentes sendo que o IBG centra o EI nos requisitos dos ocupantes enquanto a definição no IBI sugere uma abordagem mais relacionada com os equipamentos.

As abordagens baseadas nos serviços definem os EI do ponto de vista dos serviços oferecidos e da qualidade com que esses serviços são prestados. Os serviços são desta forma enfatizados face às exigências dos ocupantes, sendo que estes são colocados à sua disposição, mesmo que os ocupantes em determinado momento não sintam a necessidade ou a vantagem na sua utilização. O JIBI partilha desta filosofia

As abordagens baseadas nos sistemas definem os EI consoante os sistemas que os compõem. O foco, para este tipo de abordagem, está na tecnologia dos sistemas utilizados. As definições de EI na China e em Singapura partilham desta filosofia.

De acordo com Clements-Croome (2004), um EI deverá ser sustentável, saudável, com tecnologia atual, responder às necessidades dos ocupantes e dos negócios que alberga e deverá ser flexível e adaptável para lidar com as mudanças. Esta definição enfatiza a importância do projeto, da construção e da gestão dos equipamentos e instalações.

De acordo com Wong, Li, e Wang (2005), a investigação dos EI centrou-se essencialmente em três áreas que se interligam entre elas mas que providenciam conhecimento para diferentes fases da vida dos EI. Estas áreas centram-se essencialmente na procura por novas tecnologias, formas de avaliar o desempenho dos EI e na avaliação dos investimentos.

Os autores Yang e Peng (2001) e Wigginton e Harris (2002) defendem que o conceito dos EI tem de passar pela capacidade que o edifício tem de aprendizagem e de adaptação do desempenho em função da envolvente e da ocupação.

Apesar de se considerar importante que um EI tenha a capacidade de se adaptar ao meio de forma automatizada e inteligente, é importante que “perca a inteligência” de modo a poder adaptar-se também às vontades dos ocupantes. Deste modo, considera-se essencial que um EI se deva adequar aos ocupantes, mas da maneira mais eficiente possível.

Como é de esperar numa área em permanente e rápida evolução, a tecnologias dos EI contemporâneos é muito diferente da existente no início do desenvolvimento desta área. A integração e interação entre os subsistemas dos EI são cada vez mais usadas como forma de partilha de informações. Este princípio começa já a extrapolar o objeto edifício de modo a que a interação se estenda para a cidade. A integração de sistemas entre EI pode ter como fundamento questões de segurança, eficiência energética ou estar ligada às gestão de cidades ou bairros no âmbito das diretiva 2010/31/EU (2010).

Os EI sem inclusão de tecnologia podiam ser uma possibilidade há uns anos atrás sendo que, na atualidade, não é de esperar que o conceito de EI se desenvolva sem a presença de tecnologia. Assim, considera-se que no conceito de EI está intrínseca a associação das tecnologias da informação e comunicação (TIC). Apesar da inclusão de tecnologia nos EI ser um caminho inevitável, não é a quantidade de tecnologia que confere ao edifício um maior ou menor grau de inteligência, mas sim na ajuda que esta tecnologia pode dar aos ocupantes no sentido de tornarem o edifício mais eficiente e o espaço mais confortável para os ocupantes. Desta forma, é de esperar que a tecnologia dos edifícios seja um meio e não um fim.

A bibliografia até agora exposta centrou-se essencialmente na definição de EI de acordo com a parte ativa do edifício. Apesar de, para o autor Wang (2010), o principal enfoque dos edifícios inteligentes ser o uso eficiente de tecnologia nas quais se destacam as TIC, há no entanto outras formas de contribuir para a inteligência dos edifícios, sendo essas formas essenciais para se atingir um elevado desempenho nos edifícios. Para tal é necessário, que para além de possuir tecnologia exista na sua génese uma conceção com arquitetura e componentes eficientes. Assim, entende-se que um edifício inteligente deverá ter uma arquitetura, estrutura e materiais que o otimizem e melhorem o desempenho do edifício e dos seus ocupantes. O conceito de arquitetura inteligente, segundo Wang (2010), subdivide-se em 3 partes:

- Conceção inteligente - um edifício com arquitetura inteligente deverá estar em harmonia com a envolvente usando os recursos naturais de forma eficiente. Deverá ainda ter em conta o contexto cultural, político e económico da zona em que se insere de modo a poder adaptar-se às exigências locais e dos ocupantes;
- Uso apropriado de tecnologia inteligente - o estudo dos hábitos e preferências dos ocupantes será primordial de modo a escolher a melhor tecnologia, mas acima de tudo a que mais se adequa aos hábitos das pessoas. Caso este estudo não seja feito, corre-se o risco de criar um edifício sem inteligência, por não se adaptar aos seus ocupantes;
- Uso e manutenção inteligente dos edifícios – um edifício inteligente deverá ser pensado em função do ciclo de vida. Independentemente da sua complexidade, deverá ser fácil de utilizar, manter e modificar.

As definições apresentadas permitem concluir que a definição de EI não é única e consensual, mas há posições comuns. Um dos pontos importante na definição de um EI está no facto de apenas se poder considerar um edifício inteligente se apresentar um desempenho melhor que um idêntico sem “inteligência”. Existe ainda outro ponto importante que terá a ver com a interação e satisfação dos requisitos dos ocupantes. Assim, pressupõe-se que um EI não contrarie as vontades dos ocupantes, mas que as atinja da forma mais eficiente possível.

### 2.2.2. EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS INTELIGENTES

Devido às ligações existentes entre os EI e a tecnologia e automação, em Portugal, o conceito de EI está associado ao conceito de domótica, quando se refere a edifícios habitacionais. Etimologicamente, domótica provém de duas palavras domus (do latim que significa casa) e robótica (do checo robota). A domótica é habitualmente conhecida como a aplicação da informática, eletrónica e robótica/automação aos edifícios de modo a facilitar a interação dos ocupantes com os mesmos. Globalmente este termo é conhecido como “building automation systems” (BAS), “energy management system” (EMS) ou “building management system” (BMS), referindo-se à automação dos edifícios que podem ser habitacionais ou comerciais/industriais.

O sistema de controlo de um EI consiste em equipamentos tecnológicos, terminais que comunicam com dispositivos de controlo ou servidores. A comunicação entre os equipamentos ocorre através de protocolos de comunicação. Os equipamentos ligados na rede podem ser de três tipos: sensores, atuadores e controladores, que estão interligados por intermédio de uma rede. Os sensores são componentes eletrónicos ou mecânicos responsáveis por converter uma variável física num sinal elétrico capaz de ser adquirido pelo sistema. Os atuadores são componentes capazes de atuar no ambiente, comandados por um sinal elétrico. A rede de controlo é implementada de modo a que exista uma comunicação entre todos os componentes do sistema, permitindo o acesso aos dados adquiridos pelos sensores e permitindo aos componentes de controlo enviar comandos para os atuadores. A comunicação é feita através de meios físicos, como cabos de diversos tipos ou através de transmissores e recetores sem fio. Geralmente há um sistema administrador da rede que gere a rede e interage com o utilizador. Os sistemas de EI existentes baseiam-se em redes de comunicação padronizadas permitindo o seguinte (Sinopoli 2010):

- Comunicação entre aplicações;
- Mais eficiência e poupanças monetárias em materiais, trabalho e equipamento;
- Funcionalidade dos sistemas com equipamentos de diferentes fabricantes.

Algo bastante importante num sistema de domótica é a sua interação com os ocupantes. A este nível tem-se registado uma grande evolução sendo que, no presente, começa a ser generalizado o fornecimento de um software para os *smart phones* de modo a que o utilizador possa interagir com a casa quando está longe desta.

A automação de componentes dos edifícios está relacionada com a existência de um BAS (Wigginton e Harris 2002; Wang 2010; Sinopoli 2010). Este sistema, através de um algoritmo pré-programado, permite o controlo de diversos componentes dos edifícios. Na atualidade, existe tecnologia que permite promover a automação nos seguintes níveis:

- Iluminação artificial;
- Iluminação natural;
- Radiação solar;
- Produção de eletricidade;
- Ventilação;
- Climatização.

É comum encontrarmos esta automação nos edifícios de comércio e serviços. No entanto, nos edifícios residenciais, a sua utilização ainda é reduzida.

De acordo com o trabalho realizado por Wyckmans (2005), as fachadas dos edifícios podem adaptar-se às condições exteriores de modo a promoverem melhores condições interiores. O autor concentrou a sua

pesquisa nos dispositivos que influenciam a iluminação natural dos edifícios. Foram descritos exemplos de dispositivos móveis, automatizados, como por exemplo:

- Portadas exteriores;
- Estores venezianos;
- Estores em lâminas exteriores;
- Dispositivos de proteção solar com células fotovoltaicas integradas (building-integrated photovoltaics – BIPV);
- Sistemas de monitorização solar e reflexão.

Diversos outros autores estudaram algoritmos para o funcionamento de portadas, estores e dispositivos móveis de sombreamento para melhorar a iluminância, conforto térmico e eficiência energética dos edifícios (Bourgeois, Reinhart, e Macdonald 2006; Lee, DiBartolomeo, e Selkowitz 1998; Van Den Wymelenberg 2012; Gomes, Santos, e Rodrigues 2014). Geralmente o estudo dos autores foca-se na escolha de uma metodologia que defina a regulação dos dispositivos em função dos parâmetros interiores e exteriores. Na atualidade estes dispositivos estão já em fase de comercialização, existindo frequentemente a possibilidade de os ocupantes sobreporem a sua vontade através da alteração manual do estado dos dispositivos face à programação, otimizada, definida pelo fabricante.

O edifício habitacional “Home for Life”, baseado nas especificações da Active House, tem automação ao nível dos estores e da ventilação. Inicialmente os estores foram configurados em função da temperatura interior, contudo os ocupantes ajustavam manualmente os estores em função da radiação exterior, tendo-se alterado o algoritmo nesse sentido. A ventilação “on-demand” está programada em função do CO<sub>2</sub>, entrando em funcionamento acima de 850 ppm, e da humidade relativa, entrando em funcionamento acima dos 60% de humidade relativa interior e em velocidade máxima quanto a humidade relativa interior atinge os 80% (Foldbjerg, Rasmussen, e Asmussen 2011). Esta habitação baseia-se no sistema de ventilação “on demand” estando o seu estudo já consolidado e em fase de produto comercial.

A ventilação pode ser promovida por sistemas mecânicos de extração ou pela simples abertura de janelas, funcionando naturalmente em função do vento. Existem dispositivos que automaticamente abrem e fecham as janelas. Estes sistemas normalmente funcionam numa secção reduzida da janela, por questões relacionadas com a segurança contra a intrusão. A ventilação promovida ocorre normalmente durante a noite de modo a aproveitar-se o gradiente de temperaturas para arrefecer a casa (Ochoa e Capeluto 2009).

É possível na atualidade colocar nos vidros das janelas um sistema electrocromático. Este tipo de tecnologia permite que haja uma alteração da reflexão solar do vidro. A grande vantagem desta tecnologia é poder-se automaticamente controlar a quantidade de energia e de iluminação que atravessa a janela (Clear, Inkarojrit, e Lee 2006; Jelle 2013). O sistema que controla estas variáveis pode ser programado em função de parâmetros do ambiente exterior como a temperatura e a radiação solar ou a iluminância interior, por exemplo. No trabalho realizado por Lee, Claybaugh, e Lafrance (2012) o autor estudou a aplicação desta tecnologia tendo encontrado uma poupança de energia de 48%.

O sistema construtivo do tipo “fachada cortina” (double skin façades - DSF), constitui uma solução que pode contribuir para a melhoria da eficiência energética e conforto térmico dos edifícios. Contudo, tal só é possível com a conjugação de dispositivos de sombreamento no interior da cavidade de ar e a ventilação da mesma. Normalmente, está associada a esta solução construtiva uma automação da ventilação e dos dispositivos de sombreamento (Marques da Silva, Gomes, e Rodrigues 2015; Zhou e Chen 2010; Gratia e De Herde 2004; Manz 2003).



### 2.3. COMPORTAMENTO DOS OCUPANTES EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS

Como detalhado no capítulo 2.2 os EI podem ser completamente automatizados, possuem um sistema meramente informativo que sugere aos ocupantes as ações mais “inteligentes” a tomar ou combinarem um conjunto de ações automáticas e alertas. Qualquer que seja o tipo de funcionamento de um EI, a literatura é consensual em referir que só se alcança a verdadeira inteligência nos edifícios quando estes respeitam as exigências dos seus ocupantes, recorrendo à menor quantidade de energia possível. De modo a que as exigências dos ocupantes sejam respeitadas, é primeiro necessário conhecê-las. Considera-se, por isso o estudo do comportamento dos ocupantes dos edifícios residenciais como uma área de grande importância e cujos resultados serão a base de eventuais modos de funcionamento de um EI. Convém referir que existem parâmetros que qualquer EI deve respeitar e que não são uma necessidade consciente dos ocupantes, mas fazem parte de um grupo de exigências que contribuem para melhoria da sua saúde, a indicar em capítulos posteriores.

Por outro lado, como referido em ZeroCarbonHub (2015) e Delzendeh et al. (2017), existe um desfasamento entre o desempenho do edifício previsto em fase de projeto e o medido na fase pós-ocupação. Esta incongruência é devido a diferentes motivos, podendo identificar-se duas etapas que estão na sua origem (Figura 6). Há um desfasamento entre o pensado pelos projetistas e o efetivamente construído. Este facto ocorre devido a diversos tipos de alterações conscientes e inconscientes ao projeto inicial (Sinnott e Dyer 2011; Cali, Osterhage, et al. 2016). Considerando as condições do efetivamente construído, existe ainda outro desfasamento para as condições de uso, devido, entre outros, ao impacto do comportamento dos ocupantes (Nguyen e Aiello 2013; Delzendeh et al. 2017).

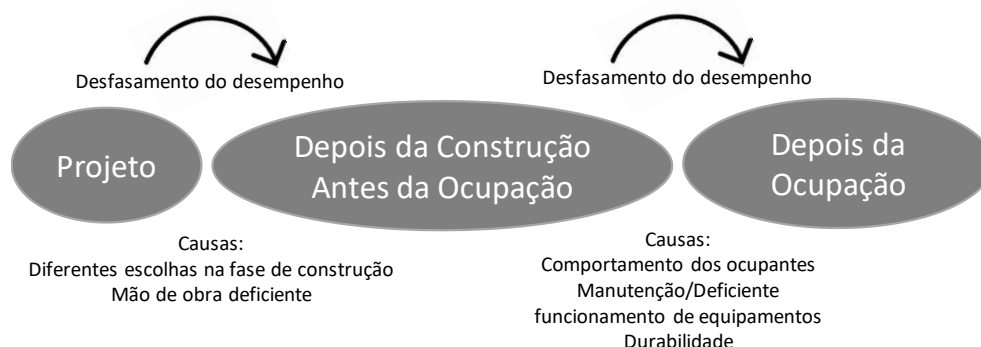


Figura 6 – Esquema representativo dos desfasamentos existentes desde a fase de projeto até à pós-ocupação, adaptado de Delzendeh et al. (2017).

De acordo com o supracitado, reforça-se o já citado no capítulo 1, indicando-se as principais motivações para o estudo desta temática (Jia, Srinivasan, e Raheem 2017; Hong et al. 2017):

- Necessidade de otimizar os BAS | EMS | BMS, adaptando-os aos hábitos dos ocupantes;
- Necessidade de diminuir o desfasamento entre a previsão em fase de projeto e os desempenhos reais dos edifícios.

A diversidade humana cria a esta área de estudos uma dificuldade extra, sendo a sistematização e parametrização algo difícil de alcançar, pelo menos de forma global. Assim, é comum na área de estudos do comportamento dos ocupantes dos edifícios, recorrer a bases estatísticas e a dividir a amostragem por grupos (clusters) (D'Oca e Hong 2015). No entanto, de acordo com alguns estudos (Nguyen e Aiello 2013), por muito que se caracterize o comportamento humano e se consiga padronizar as suas

exigências, o funcionamento dinâmico e adaptável é essencial para se conseguirem poupanças energéticas substanciais combinadas com a satisfação dos ocupantes.

De acordo com Yan e Hong (2014), os estudos de eficiência energética nos edifícios tem-se focado essencialmente na melhoria dos sistemas, retirando a atenção do estudo do comportamento dos ocupantes. Os mesmos autores defendem o estudo aprofundado do comportamento dos ocupantes indicando que o simples reconhecimento da existência de influência das ações dos ocupantes nos edifícios é insuficiente.

A área de estudos do comportamento dos ocupantes dos edifícios sofreu alguma evolução recente, (D'Oca, Hong, e Langevin 2018) tendo sido muito útil para a redução significativa dos custos energéticos em diversos edifícios, principalmente de serviços. No setor residencial existem alguns estudos desenvolvidos embora a aplicação prática dos resultados da investigação esteja ainda pouco difundida, principalmente com sistemas dinâmicos e adaptáveis aos ocupantes.

Nos subcapítulos seguintes procurou-se separar a informação recolhida pela bibliografia em quatro áreas de modo a dar-se desposta às seguintes questões:

- Como detetar as ações dos ocupantes;
- O que condiciona o comportamento dos ocupantes;
- Quais os impactos do comportamento dos ocupantes;
- Como modelar o comportamento dos ocupantes.

### 2.3.1. DETECÇÃO DAS AÇÕES DOS OCUPANTES

A identificação das principais atividades dos ocupantes numa habitação está geralmente relacionada com os seus impactos podendo, no entanto, possuir diferentes motivações (Nguyen e Aiello 2013). Deste modo, é difícil definir quais as principais ações realizadas pelos ocupantes de uma forma generalizada. No entanto, de acordo com o estado da arte levantado pelos autores Stazi, Naspì, e D'Orazio (2017b), em edifícios residenciais, as principais ações alvo de estudos científicos foram as seguintes:

- Operação de janelas;
- Regulação de sistemas de climatização.

Noutra perspetiva, os autores Johansson, Pallin, e Shahriari (2010) estudaram as principais atividades com produção de vapor numa habitação. Este estudo hierarquizou as cinco principais ações como fontes de produção de vapor de água sendo de forma decrescente as seguintes: secagem de roupa sem ventilação; respiração humana; tomar duche; confeção de alimentos (jantar) e a existência de aquários. Os autores Hendron e Engebrecht (2010) analisaram as ações relacionadas com o consumo de água como uso da banheira, duche, máquina de lavar louça, máquina de lavar roupa, iluminação e eletrodomésticos gerais e iluminação.

Realça-se no entanto que a identificação da atividade pode não ser suficiente, podendo ser necessário caracterizá-la em função da sua duração, a frequência, o dia e hora da ocorrência (Bonte, Thellier, e Lartigue 2014).

De acordo com os autores Yan et al. (2015) a medição do comportamento dos ocupantes pode ser desenvolvida através de três formas:

- Processos de monitorização - apesar de serem os mais utilizados pela comunidade científica, existem diversas dificuldades nos estudos que utilizam processos de monitorização, não sendo fácil a sua aplicação num contexto residencial. O sistema de monitorização tem que ser quase impercetível para os ocupantes, funcionar bem com poucas necessidades de manutenção e registar valores com precisão. Estes requisitos são difíceis de serem alcançados simultaneamente pelo que alguns têm que ser desvalorizados em função de outros. Para além disto, há sempre o risco de os dados recolhidos possuírem períodos corrompidos e períodos sem medição o que exige um trabalho de pré-processamento de dados por vezes muito trabalhoso. Existe também a dificuldade na escolha dos sensores ideais para o estudo que se pretende desenvolver. Há uma grande variabilidade no mercado de módulos de sensores comerciais (Messerve et al. 2010) e de sensores prontos a serem montados em Arduino (Ali et al. 2016), devendo a sua escolha ter em conta principalmente a fiabilidade, precisão, resolução, autonomia e o tempo de resposta. De um modo transversal, considera-se importante a existência de pelo menos 1 ano de monitorização (Yan et al. 2015);
- Realização de inquéritos e entrevistas - apesar da maior precisão dos estudos de observação face aos inquéritos, alguns autores realizaram trabalhos usando exclusivamente inquéritos, analisando quantidades de dados significativas tendo por exemplo Andersen et al. (2009) analisado 1569 inquéritos e Wilke et al. (2013) 7949. Contudo, existem algumas reservas quanto à precisão dos inquéritos, sendo que, de acordo com os autores Hnat et al. (2011) e Nguyen e Aiello (2013), os inquéritos longos tendem a aportar erros não desprezáveis, podendo ser precisos ou de longa duração, mas raramente as duas coisas ao mesmo tempo. Neste sentido, a maioria dos autores defende a existência de campanhas de monitorização como a forma mais eficaz de identificar as principais ações dos ocupantes podendo os inquéritos ser usados em coordenação com o sistema de monitorização utilizado (Jia, Srinivasan, e Raheem 2017);
- Estudos laboratoriais – chegaram a ser realizados no passado na área do conforto térmico (Fanger 1970), estando na atualidade a ser pouco usados.

A medição realizada de acordo com o primeiro processo é não intrusiva, permitindo monitorizar comportamentos não distorcidos ou condicionados. Os restantes já podem sofrer algum desvio face ao comportamento natural dos ocupantes.

Existem vários estudos realizados na área do comportamento dos ocupantes baseados em estudos de monitorização e inquéritos, apresentando-se de seguida os aspetos mais pertinentes para o presente capítulo.

O projeto E3SoHo (Messerve et al. 2010), que teve como objetivo a diminuição dos consumos de habitações sociais, resume os principais sensores utilizados numa monitorização residencial. No âmbito do projeto, foram avaliados os sensores disponíveis no mercado tendo-se analisado e comparado algumas das suas características:

- Temperatura - foram avaliados os sensores por termopares, sensores resistivos e termistor. Deste grupo, os sensores resistivos foram considerados os mais adequados por serem os mais estáveis, precisos, com boa gama de medição apesar de terem um tempo de resposta relativamente alto e o mais alto custo dos três;
- Humidade relativa - foram analisados os sensores resistivos e os capacitivos. Os sensores mais aconselhados são os capacitivos por apresentarem uma gama de medição mais alargada e para uma gama de temperatura também maior, apresentando ainda um tempo de resposta inferior e uma melhor precisão;

- Concentração de dióxido de carbono - podem ser baseados no uso da luz infravermelha ou serem sensores eletroquímicos. Devido à difícil manutenção não se costumam usar os sensores eletroquímicos;
- Iluminação - existem dois tipos, os de célula fotoelétrica e os fotodíodo. A grande diferença entre eles é que o primeiro é mais sensível, mas mais lento;
- Ocupação - existem os sensores de infravermelhos, de pressão, ultrassônicos, câmaras e outros combinados. Os diversos sensores podem ser comparados essencialmente ao nível da capacidade de detetar movimento, número de ocupantes, localização das pessoas, deteção da atividade física e preço. Os sensores com capacidade para responder a todos os requisitos anteriores são as câmaras de infravermelhos, as câmaras de vídeo e os PIR com leitura 360°. Destes três tipos os PIR 360° são aqueles que apresentam melhor preço, sendo por isso os mais recomendáveis;
- Abertura de elementos - foram avaliados três tipos: os sensores de contacto (utilizados para saber o estado de abertura dos vãos), os sensores de pressão (utilizados para detetar aberturas de vãos a nível global, mas não a nível individual) e os sensores “reed switch”;
- Consumos - podem ser utilizados por fração e por isso estarem localizados nos contadores ou serem utilizados sensores pontuais. No caso dos sensores pontuais de eletricidade estes podem medir apenas a intensidade ou a intensidade e a voltagem. Os sensores de água e gás mais recomendáveis são os medidores de caudal ultrassônicos sendo baratos e com pouca manutenção.

O trabalho realizado pelos autores Ahmed, Faouzi, e Caelen (2013), tinha como objetivo o reconhecimento e a padronização das ações dos ocupantes nos edifícios residenciais. Para tal recorreu-se a duas câmaras em cada quarto, estando estas conectadas a um computador para aquisição de dados. Através do método LBP (Local Binary Pattern), é possível reconhecer informaticamente rostos e atividades dos ocupantes dos edifícios através de imagens de vídeo.

O estudo realizado por Bao, Allerding, e Schmeck (2011) teve como objetivo aumentar o conhecimento disponível sobre o consumo de energia dos ocupantes dos edifícios de modo a poder equilibrar-se o balanço entre energia requerida e energia gerada. O estudo focou-se na utilização que os habitantes dão aos equipamentos instalados dentro das habitações. Neste estudo, foram registados os estados “on” e “off” de cada máquina assim como as particularidades do funcionamento do programa selecionado.

De acordo com o projeto dos autores Barbato et al. (2009), foram colocados em cada compartimento sensores de temperatura, iluminância e presença. Os sensores de presença colocados são sensores de baixo custo que funcionam por infravermelhos. Foram geralmente usados sensores ligados em rede sem fios. Devido ao facto de cada habitação ser relativamente pequena, o ideal teria sido o uso de apenas um sistema em rede. Contudo, devido a questões económicas e comerciais, foram adotadas redes wireless heterogéneas e integradas no programa de gestão da informação.

O projeto “CASAS-Sustain System” (Chen, Cook, e Crandall 2013) analisou dois apartamentos no campus da Washington State University campus. Para a monitorização foram usados diversos sensores. Para avaliar a presença dos ocupantes foram utilizados sensores de movimento colocados nos tetos, chegando a instalar-se 7 sensores de movimento só num quarto com um mínimo de 4. Foram também instalados sensores de temperatura, iluminância, medidores de água quente e água fria assim como sensores de deteção da utilização do forno.

O trabalho dos autores D'Oca et al. (2014) monitorizou 15 habitações nos arredores de Copenhaga com ventilação natural, tendo sido registados os valores de temperatura interior, concentração de CO<sub>2</sub> e luminância das salas de estar e quartos em cada habitação. Relativamente ao clima exterior, foram

recolhidos dados das estações meteorológicas mais próximas ao nível da temperatura exterior, humidade relativa, radiação solar global, velocidade do vento e número de horas de sol por dia. Ao nível da interação dos ocupantes foram registados os estados de abertura ou fecho das janelas e os valores colocados na programação do sistema de aquecimento

O estudo desenvolvido por Kleiminger, Mattern, e Santini (2014) utilizou um algoritmo tendo por base os telefones dos ocupantes das habitações para construir perfis de ocupação. O objetivo do algoritmo era inferir quando cada utilizador estava em casa e quando não estavam no período da recolha de dados. Assim, o algoritmo calcula a programação de ocupação de cada utilizador. Para fazer isso, o algoritmo usa os registos de pontos de acesso visíveis Wi-Fi. Os telefones móveis foram programados para fazerem ciclicamente uma verificação das redes de WI-FI visíveis como tal, nas imediações do utilizador. Os dados de entrada para o algoritmo são compostos por uma lista destes registos, a partir da qual apenas as datas e o identificador (endereço MAC) dos dispositivos móveis são usados pelo algoritmo. A recolha de dados para o desenvolvimento dos perfis de ocupação foi desenvolvida durante 18 meses.

O estudo realizado por Iwashita e Akasaka (1997) baseou-se em questionários para prever o comportamento dos ocupantes ao nível da operação de janelas e portas e equipamento de condicionamento de temperatura assim como a sua presença nas habitações durante o período de medição da ventilação dos espaços por intermédio do método dos gases traçadores e sensores de temperatura e humidade relativa em 8 frações de um complexo habitacional no Japão.

De acordo com o estudo de Bonte, Thellier, e Lartigue (2014) os ocupantes foram monitorizados de modo a obterem-se 8 características diferentes. Foram distinguidos os tipos de atividade dos ocupantes; a duração da atividade, o dia da semana em que ocorre o evento; se é dia da semana ou fim-de-semana; hora do dia; número de vezes em que cada sensor de movimento é acionado durante uma atividade; número de sensores de movimento que são ativados em todos os compartimentos; número total de sensores que foram acionados.

Os autores do estudo Bekö et al. (2010) monitorizaram 500 quartos dinamarqueses recorrendo a sensores de temperatura, humidade relativa e dióxido de carbono. Foram também usados dados de clima exterior de uma estação meteorológica num raio de 20 km das habitações monitorizadas. Foi ainda pedido para os ocupantes preencherem um inquérito sobre o estado das janelas e portas dos quartos monitorizados assim como os ocupantes noturnos desses quartos. Cada casa foi monitorizada num mínimo durante 48 horas.

Os autores Lu, Sookoor, et al. (2010) utilizaram sensores passivos de infravermelhos (PIR) X10 *wireless*, como sensores de movimento e deteção de ocupantes a dormir, e leitores magnéticos de contacto (reed sensor) na porta de entrada das frações analisadas. Foi também avaliada a temperatura e a humidade relativa dos espaços monitorizados. A opção por estes sensores de deteção da ocupação dos ocupantes face a outros como por exemplo o registo do consumo elétricos de todos os compartimentos, a utilização de sensores portáteis nos ocupantes ou a utilização de câmaras de vídeo, foi tomado por questões económicas e para evitar ser-se intrusivo na casa. O custo dos sensores utilizados rondou 5\$ por cada um. Nas 8 casas monitorizadas foi colocado um sensor em cada compartimento, tendo-se por isso usado um total de 9 sensores de movimento mais 1 sensor de porta na entrada, perfazendo um custo total de cerca de 50\$ por casa. Os autores afirmam ainda que os sensores utilizados são muito simples e por isso com menor precisão e fiabilidade face a outros mais evoluídos. Apesar destas limitações, os autores consideraram que os sensores utilizados eram indicados para uma monitorização residencial. Noutro trabalho de alguns dos mesmos autores (Whitehouse et al. 2012), como desafio futuro

apresentam a melhoria da monitorização da ocupação por compartimentos da habitação que servirá de base para o objetivo do zonamento climático individual das habitações.

De acordo com o estudo realizado por Möllers et al. (2014), a comunicação via wireless usada nos sistemas de monitorização dos edifícios residenciais é uma potencial fonte de insegurança e de violação de privacidade. De acordo com os autores, muitos sistemas disponíveis fornecem pouca ou nenhuma segurança. Nas duas instalações que serviram de caso de estudo foram detetadas falhas de segurança com possibilidade de todas as informações recolhidas pelos sensores instalados poderem ser acedidas por terceiros, entre as quais se destacaram os hábitos dos ocupantes assim como a sua presença. Em geral, os sistemas sem qualquer tipo de encriptação disponibilizam uma grande quantidade de informações para qualquer informático experiente. Nenhum conhecimento prévio sobre a instalação ou a vítima é necessário para executar este tipo de ataque. Os autores sugerem que sejam tomadas medidas para tornar estes sistemas de monitorização mais seguros. Embora esquemas de encriptação estejam disponíveis, podendo ser facilmente aplicados, considera-se que a proteção contra-ataques de análise de tráfego em sistemas de monitorização wireless ainda tem que ser mais desenvolvida. Os autores consideram que a geração de tráfego fictício seria uma forma eficaz e eficiente de aumentar a segurança destes sistemas. De modo a não diminuir a bateria dos sensores distribuídos pela casa, os autores sugerem que seja a estação de base a produzir o tráfego fictício uma vez que esta está, geralmente, ligada à eletricidade.

Os autores Ramos, Curado, e Almeida (2015) utilizaram equipamentos de medição de temperatura e humidade relativa, sensores de CO<sub>2</sub> e uma porta ventiladora para medir a estanquidade ao ar cuja alteração foi depois avaliada sob o ponto de vista do comportamento dos ocupantes. Os dados da ocupação e das ações desenvolvidas pelos ocupantes foram obtidos por respostas a inquéritos.

O autor Guerra Santin (2011) realizou um trabalho de associação de padrões de comportamento e perfis de ocupantes de habitações residenciais com o consumo de energia para aquecimento, através da realização de inquéritos. Os inquéritos foram realizados em dois momentos distintos e planeados em função das características das casas. O autor refere que a taxa de respostas foi muito reduzida, tendo apenas respondido 313 frações das 6000 selecionadas. Os inquéritos abrangiam questões sobre o perfil sociodemográfico, estilo de vida e características das frações, tendo-se correlacionado estas características com o consumo de energia.

O trabalho dos autores Wilke et al. (2013) baseou-se na resposta de questionários preenchidos entre 1998 e 1999 correspondendo a um total de 7949 famílias e 15441 indivíduos. Estes questionários diziam respeito ao relato das atividades desenvolvidas pelos ocupantes das habitações durante 24 horas com uma precisão de 10 min.

No estudo de Weng e Agarwal (2012), foram comparados alguns tipos de sensores para se perceber a melhor forma de monitorizar o comportamento dos ocupantes dos edifícios de modo a otimizar o funcionamento dos EI. Foram comparados sensores PIR, reed switch e um protótipo desenvolvido pelos autores para se detetar a presença dos ocupantes nos compartimentos. Foi também utilizado em campanhas experimentais um protótipo de medição de consumo das tomadas.

Os autores Yang et al. (2014) realizaram um trabalho de modelação da ocupação dos ocupantes através de parâmetros medidos por sensores de ambiente interior de modo a poder criar-se um algoritmo que comandava o funcionamento de um sistema AVAC. Foram criados 50 protótipos de módulos de monitorização que foram colocados em 50 quartos de um edifício de residência para estudantes. Cada módulo consistia num Arduino Black Widow com comunicação 802.11 WiFi com os seguintes sensores: iluminação; som; movimento; CO<sub>2</sub>; T; HR; infravermelhos; reed switch sensor. Através destes sensores foram criadas 11 variáveis que eram registadas de minuto a minuto. Os resultados mostraram que os

sensores de CO<sub>2</sub>, reed switch e iluminância foram os que se mostraram mais úteis para o objetivo do estudo.

O trabalho de D'Oca, Corgnati, e Buso (2014) consistiu na criação de um sistema de medição global de energia para o sistema residencial associado a um sistema informativo sobre os consumos reais, histórico e comparativo com famílias similares. O sistema de medição consistia essencialmente em tomadas *smart* que comunicavam os registos via wireless ao sistema central. O sistema foi testado em 31 habitações.

No estudo de Calì, Andersen, et al. (2016) foram analisadas as aberturas das janelas de 67 frações habitacionais. Para tal foram utilizados módulos de monitorização com os seguintes sensores: compostos orgânicos voláteis (VOC), concentração de CO<sub>2</sub>, iluminância, reed switch, T e HR.

Os autores Yao e Zhao (2017) utilizaram sensores reed switch para monitorizar o estado aberto / fechado de janelas e oito parâmetros ambientais, incluindo temperatura e humidade relativa do ar interno e externo, concentração de CO<sub>2</sub> no interior, concentração de PM2.5 ao ar livre e velocidade e direção do vento ao ar livre.

O trabalho desenvolvido por Hnat et al. (2011) deu origem a um guia para a monitorização de edifícios residenciais. O trabalho teve como base 10 estudos anteriores dos autores em cerca de 20 edifícios com um uso superior a 1200 sensores e um tratamento de dados de mais de 17 biliões de dados. O tipo de sensores utilizados variou tendo-se usado os seguintes:

- Movimento;
- Utilização de objetos;
- Abertura de portas e janelas;
- Medição da altura das pessoas que passam pelas portas;
- Medidores de energia;
- Temperatura e humidade relativa;
- Medição entrada de ar em cada quarto.

O sistema de monitorização utilizado pelos autores Hnat et al. (2011) é constituído por diversos subsistemas devido aos diferentes sensores utilizados e aos diferentes protocolos utilizados para a sua comunicação. Devido aos custos reduzidos dos sensores e à sua facilidade de colocação, foram utilizados em quase todos os estudos sensores de movimento com um custo unitário de cerca de 5\$, colados em paredes com uma fita adesiva de dupla face e com comunicação X10. Ao nível dos sensores de utilização de objetos, foram inicialmente utilizados sensores X10 pelo seu baixo custo. Contudo, o facto de serem demasiado intrusivos, levou à alteração por sensores com a tecnologia Z-wave. Os sensores de temperatura e humidade relativa utilizados foram fabricados pelas empresas Onset e La Crosse Weather Direct. Os sensores da entrada de ar nos compartimentos foram concebidos pelos autores do estudo assim como os atuadores para facilitar o fecho e a abertura das entradas de ar, por via remota. Os diversos subsistemas utilizados tinham diferentes formas de armazenamento e de alimentação energética tendo os autores analisado as diversas falhas que ocorreram durante o tempo de monitorização. A experiência dos autores permitiu identificar alguns dos principais problemas sentidos ao longo das monitorizações:

- Alimentação elétrica: uma decisão pouco sustentada levaria a maioria das pessoas à utilização de corrente elétrica em vez de baterias para a alimentação dos sensores. Contudo, estes autores encontraram maior fiabilidade nas baterias. As tomadas existentes nas casas mostraram que são muitas vezes escassas e muitas vezes utilizadas pontualmente pelos ocupantes levando a que os sensores sejam desligados. Para além de terem sido observadas perdas 3 vezes superiores em sensores ligados a tomadas face aos que usam baterias, foram necessárias mais

intervenções no local. A ligação direta à eletricidade sem se usar uma tomada foi também estudada, contudo esta intervenção é mais intrusiva e dispendiosa;

- Rede sem fios dentro das habitações: apesar de as casas serem em geral pequenas, muitas vezes não se consegue ligar por WiFi ou Z-wave todos os sensores por existirem pontos onde a rede é mais fraca. A utilização da rede elétrica como meio de comunicação entre sensores pode ser usada para alguns subsistemas, dependendo dos protocolos de comunicação, embora existam problemas na ligação dos sensores à rede elétrica da casa, como explicado no ponto anterior;
- Ocupantes das casas: os sistemas, ao serem intrusivos numa casa, são alvo de interação dos seus ocupantes causando perturbações nas medições. As crianças e os animais são os ocupantes que mais influenciam negativamente a monitorização. Deve-se evitar sensores com ecrãs brilhantes e com luzes. Os fios de alguns sensores são também uma fonte de perturbação ao ambiente da casa sendo muitas vezes acidentalmente perturbados;
- Realização de visitas aos locais monitorizados: apesar de cada sensor necessitar apenas de uma operação de minutos, a colocação de dezenas de sensores pode levar a muitas horas de visita. Devem-se evitar visitas demoradas por interferir com as horas das refeições, o que leva os ocupantes a ficarem desagradados com a presença dos investigadores. Recomenda-se que a localização dos sensores seja preparada em laboratório e no local sejam tiradas fotografias de modo a que a colocação dos sensores e as operações de manutenção sejam rápidas. É aconselhado o teste do sistema em laboratório para não se fazerem experiências no local de monitorização e aconselha-se a verificação da instalação logo após a saída do local a monitorizar;
- Colaboração dos ocupantes: em cinco estudos onde foi pedida a colaboração das pessoas nos inquéritos foi observado que se podem obter resultados de grande precisão ou respostas por longos períodos, mas nunca as duas situações em simultâneo. É recomendável o uso de sensores redundantes de modo a que uns se validem aos outros especialmente aqueles que dependem da ação humana como por exemplo os sensores que necessitam de ser transportados pelos ocupantes de modo a identificar a sua localização constante na casa;
- Alteração estética provocada pelos sensores: grande parte das pessoas aceita que a sua casa tenha sensores para fins de investigação, mas não os aceita como objetos decorativos, especialmente por longos períodos de tempo. Para além desta situação, depois da monitorização não pode ser deixado qualquer vestígio. A utilização de um sistema de colagem eficaz e que não deixe marcas é essencial. As luzes e o barulho dos equipamentos foram também considerados perturbações não aceites pelos ocupantes;
- Disponibilidade de sistemas para uso doméstico com grande número de sensores: foram encontradas correlações elevadas entre o aumento dos sensores com o aumento dos erros e das omissões de dados. Os diferentes fabricantes foram desenvolvendo diferentes protocolos de comunicação para os sensores de domótica pelo que o seu uso numa habitação implica o recurso a diversos subsistemas. Caso se utilizem sistemas mais baratos, estes são mais pensados para uso não profissional pelo que diminuem de fiabilidade com o aumento da complexidade da rede.

De modo a evitar a ocorrência sucessiva de erros, os autores Hnat et al. (2011) propuseram uma série de verificações:

- Estado da ligação com cada sistema e subsistema;
- Estado da ligação com o sistema de recolha de dados;
- Pedir resposta de sensores a cada período de tempo;
- Estipular uma frequência mínima de comunicação para todos os sensores;
- Assegurar que os valores médios medidos pelos sensores são aceitáveis;



- Assegurar uma uniformização das horas dos sensores;
- Assegurar que existe suficiente espaço de armazenamento.

Apesar de existirem estudos mais recentes na área do comportamento dos ocupantes a utilizarem sensores específicos para detetar ações (Jia, Srinivasan, e Raheem 2017), existem outros estudos cujos sensores utilizados serem para medir os parâmetros ambientais interiores (essencialmente temperatura, humidade relativa e concentração de CO<sub>2</sub>), usando inquéritos para a determinação das ações dos ocupantes (Stazi, Naspi, e D'Orazio 2017a; Guerra-Santin et al. 2016). Existem motivos óbvios para a existência deste tipo de estratégia uma vez que a utilização de sensores específicos para a deteção das ações dos ocupantes, para além de onerosa, implica uma instalação complexa, ações de manutenção periódicas e um tratamento de dados diversificado e por isso trabalhoso.

Os sensores de temperatura, humidade relativa e concentração CO<sub>2</sub>, para além de úteis em estudos de comportamento térmico e qualidade do ar, permitem extrair conhecimento sobre a ocupação dos ocupantes (Candanedo, Feldheim, e Deramaix 2017). Esta extração de conhecimento de séries temporais baseia-se no princípio da análise da variação dos parâmetros consecutivos de uma série temporal completa devido às ações dos ocupantes (Szcurek et al. 2016). Por outro lado, o uso de sensores de temperatura, humidade relativa tem-se vindo a banalizar pelo seu baixo custo e pela relevância da informação quer para os técnicos quer para os ocupantes. Os sensores de CO<sub>2</sub> apesar de não terem o seu uso tão difundido, começam já a aparecer em alguns medidores de qualidade do ar de uso não profissional.

### 2.3.2. AVALIAÇÃO DAS MOTIVAÇÕES DOS OCUPANTES

O estudo das motivações (drivers) foi uma das quatro áreas definidas no trabalho de Hong et al. (2015) no enquadramento (DNAS) da investigação do comportamento dos ocupantes. Com este intuito, diferentes estudos encontraram diferentes motivações para as ações (Fabi et al. 2012; Stazi, Naspi, e D'Orazio 2017b). De acordo com Peng et al. (2012) as motivações para o comportamento humano nos edifícios podem ser divididas em três categorias:

- Questões temporais: ações baseadas numa rotina diária cuja repetibilidade pode ser encontrada nos mesmos períodos temporais;
- Questões ambientais: algumas ações são motivadas pela perceção lógica de parâmetros ambientais interiores e exteriores;
- Questões aleatórias: ações não são regulares não seguem princípios lógicos ou podem seguir motivações desconhecidas ou complexas.

Por outro lado, Fabi et al. (2012) dividiu as motivações para o comportamento dos ocupantes em cinco categorias: fatores do ambiente físico, fatores contextuais, fatores psicológicos; fatores fisiológicos; fatores sociais. Mais recentemente Yan et al. (2017) consideraram a existência de quatro tipo de fatores que influenciam o comportamento dos ocupantes: fisiológicos; individuais; ambientais; ajustes espaciais. De acordo com os autores Wei, Jones, e Wilde (2014), a bibliografia existente aponta para diversos fatores que condicionam o comportamento dos ocupantes no que diz respeito ao aquecimento dos edifícios, tendo os autores dividido estes fatores em quatro grupos: Ambientais – clima exterior e humidade relativa interior; Fatores relacionados com o edifício e seus sistemas – tipo de habitação, idade da habitação, tamanho da habitação, tipo de quartos, isolamento térmico da casa, tipo de sistema de aquecimento, tipo de alimentação do sistema de aquecimento e tipo de sistema de controlo de temperatura; Fatores relacionados com os ocupantes – idade, género, cultura/raça, classe social, tamanho da família, rendimentos familiares, tipo de casa anteriormente ocupado, proprietário/arrendatário,

sensação térmica, percepção da QAI, ruído e saúde; Outros fatores – hora do dia, dia da semana, período de ocupação, preço do aquecimento e consciência do uso da energia.

Os estudos sobre as motivações das ações dos ocupantes preocuparam-se sobretudo por encontrar os indicadores (triggers) que precipitaram a ocorrência das ações. Deste modo, foram essencialmente avaliados os dados registados antes da ocorrência da ação (Figura 7).

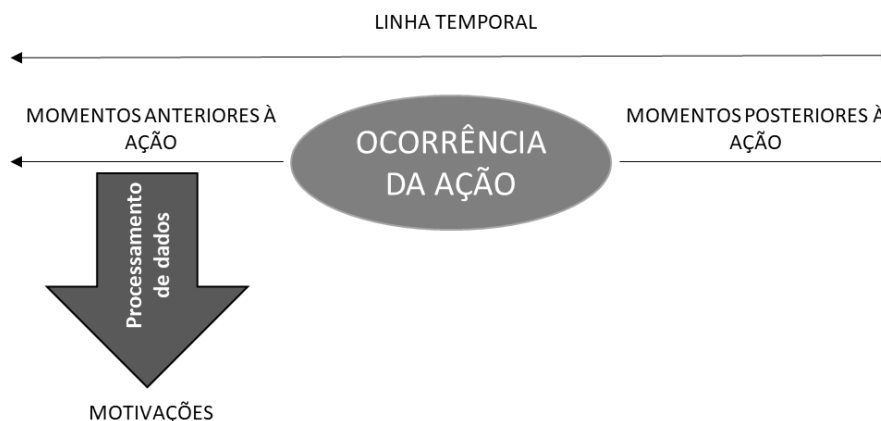


Figura 7 – Dados utilizados no estudo das motivações das ações dos ocupantes.

Foram analisados diversos estudos que se focaram na determinação das motivações para a ocorrência das ações dos ocupantes dos edifícios residenciais, que se descrevem nos parágrafos seguintes.

De acordo com os autores Wood e Newborough (2007) a utilização de ecrãs informativos numa casa inteligente pode ser uma maneira de motivar os ocupantes a pouparem energia nas habitações. Os autores identificaram que a colocação de objetivos de consumo de energia como um bom método para motivar os ocupantes a reduzirem os consumos.

De acordo com os autores Jain et al. (2013), os ocupantes podem alterar os seus padrões comportamentais e consequentemente de consumo devido à receção de *eco feedback* dos seus consumos.

O estudo realizado por Andersen et al. (2009), envolveu a realização de inquéritos em 933 habitações na Dinamarca na estação de arrefecimento e 636 na estação de aquecimento. A primeira fase do estudo serviu para os ocupantes caracterizarem as habitações. Seguiram-se os questionários eletrónicos onde os ocupantes respondiam sobre o estado da habitação naquele instante a quatro níveis: Estado de abertura das janelas, das proteções solares, da iluminação e do aquecimento. O estudo contou também com a informação meteorológica de 25 estações dinamarquesas com parâmetros como a temperatura do ar exterior, velocidade do vento 10 m acima do solo e a radiação solar horizontal. O estudo relacionou a abertura de janelas com a temperatura exterior. O aquecimento foi também correlacionado com a temperatura exterior e com a presença de fogões a lenha. A iluminação foi correlacionada com a radiação solar, temperatura exterior e percepção de iluminação.

Os autores Guerra Santin e Itard (2010) realizaram um estudo sobre os fatores que teriam influência no comportamento dos ocupantes. Foi descoberto que o tipo de controlo de temperatura dos edifícios é o fator que maior influência tem no comportamento dos ocupantes. O sistema de ventilação do edifício também mostrou influência no comportamento dos ocupantes. Os autores concluíram que as habitações com sistemas manuais de aquecimento e ventilação tendem a ter comportamentos que conduzem a uma redução dos consumos energéticos face às habitações com termóstatos programáveis e ventilação balanceada. Foi também encontrado um padrão de consumo específico das pessoas de idade, sendo que

este grupo tende a aquecer mais as casas e a ventilar menos. Relativamente às habitações com presença de crianças, estas tendem a ser menos ventiladas.

O estudo desenvolvido por Guerra Santin (2011) tentou encontrar correlações entre as diversas variáveis do comportamento dos ocupantes com o consumo de energia. O autor não conseguiu encontrar correlações claras entre o consumo de energia e os padrões comportamentais e as características do agregado familiar. Contudo, foram estabelecidas relações claras entre as características do agregado familiar e o comportamento dos seus ocupantes.

O estudo realizado pelos autores Fabi et al. (2012) indicou que existe alguma contradição entre as motivações encontradas para a operação das janelas. Deste modo, os autores distinguiram as motivações que podem entrar nos modelos de previsão da operação das janelas por terem uma abrangência generalizada, aqueles parâmetros que não têm qualquer influência e aqueles cuja influência depende de outros fatores, devendo a sua inclusão em modelos ser bem fundamentada. Nestes últimos parâmetros estão incluídos os seguintes: velocidade do vento, radiação solar e idade dos ocupantes.

Os autores Frontczak, Andersen, e Wargocki (2012) obtiveram 645 respostas a um questionário dirigido a habitações na Dinamarca. Este questionário, para além de identificar quais os fatores que os ocupantes privilegiam a nível de conforto, identificou quais os comportamentos preferenciais dos ocupantes. Os resultados mostraram que os ocupantes preferem operar manualmente as luzes elétricas, o sombreamento e a abertura das janelas. Ao nível do controlo da temperatura preferem, pelo contrário, que o mesmo seja automático.

O trabalho desenvolvido por Wilke et al. (2013) encontrou algumas variáveis que podem influenciar significativamente o comportamento dos ocupantes. Essas variáveis são: a informação do país, a situação de emprego dos membros do agregado familiar e o rendimento do agregado familiar.

De acordo com os autores Ahmed, Faouzi, e Caelen (2013) foram selecionadas 11 atividades dos ocupantes como as que mais influenciam o espaço habitacional. As atividades selecionadas foram baseadas em estudos anteriores. Consideraram-se como mais condicionadoras as seguintes atividades: ocupante sentado na cama a ler; ocupante a fazer exercícios físicos num compartimento; ocupante a lavar à mão; ocupante a movimentar-se entre quartos; ocupante a comer na cozinha; ocupante a fazer e tomar café; ocupante sentado no escritório a trabalhar no computador; ocupante a descansar na cama; ocupante a ver TV no quarto; ocupante no escritório a ouvir música; ocupante a entrar no sistema de domótica e a alterar as configurações automáticas.

De acordo com os autores D'Oca et al. (2014), existiu a necessidade de se criarem três tipos de perfis de ocupantes no seu estudo devido a grandes diferenças comportamentais. Estes tipos foram definidos em função da frequência das ações com os edifícios: perfil ativo, perfil médio e perfil passivo. Foi demonstrado que alguns ocupantes do edifício estão muito conscientes das suas contas de energia (aquecimento e eletricidade) e tendem a agir de maneira a reduzir a sua fatura em vez de manter um alto nível de conforto. Em contraste, os ocupantes sem tantas restrições financeiras ou consciência das implicações das suas ações na conta elétrica, tendem a interagir livremente com o sistema de controlo de aquecimento e com a abertura das janelas, de modo a melhorar as condições de conforto nas suas casas. Os resultados desta pesquisa sublinharam que as interações dos ocupantes nos sistemas do edifício estão estreitamente relacionadas com a busca de conforto pessoal, a qualidade do ar interior e com o desempenho energético global dos edifícios.

No estudo realizado por Luo et al. (2014), realizado em duas cidades chinesas, foram monitorizados 139 apartamentos. Este estudo indicou que os ocupantes com capacidade de controlar os sistemas de aquecimento têm maior tendência para se sentirem neutrais relativamente à temperatura interior face

àqueles que não possuem meios de operar o sistema de aquecimento. Foi assim descoberto que um menor grau de controlo ambiental não equivale necessariamente a uma diminuição das expectativas térmicas. Pelo contrário, os ocupantes com mais possibilidades de controlo tiveram menor motivação para mudar o seu ambiente térmico. De modo a diminuir a insatisfação dos ocupantes dos edifícios é essencial que lhes sejam facilitados meios para alterarem as condições interiores.

De acordo com os autores Wei, Jones, e Wilde (2014) os ocupantes têm uma grande influência no consumo de energia devido às suas ações no sistema de aquecimento em edifícios residenciais, especialmente na estação de inverno. Uma pesquisa sobre as motivações para este comportamento identificou 27 motivações diferentes na bibliografia.

O trabalho de Ramos, Curado, e Almeida (2015) avaliou o comportamento dos ocupantes de frações de um bairro social reabilitado ao nível da abertura das janelas tendo por base os dados da diferença de temperaturas entre o ambiente interior e o exterior e as concentrações de CO<sub>2</sub>. Foi concluído que os ocupantes, no inverno, preferiram não abrir tanto as janelas, piorando por isso a qualidade de ar no interior, mas conseguindo um razoável conforto térmico. Este estudo observou que o aquecimento é pontual e muito pouco utilizado, por questões económicas.

No trabalho realizado pelos autores Calì, Andersen, et al. (2016), onde foram estudados 60 apartamentos provenientes de 3 edifícios similares, a motivação mais comum para os ocupantes abrirem as janelas foi a hora do dia, seguindo-se a concentração de CO<sub>2</sub>. A motivação mais comum para fechar uma janela foi a temperatura diária média diária, seguindo-se a hora do dia.

De acordo com Delzendeh et al. (2017), os parâmetros pessoais (fisiológicos e psicológicos) foram considerados em muitos estudos (aproximadamente 30% dos artigos revistos) como fatores que influenciam o consumo de energia. Os estudos mais recentes sugerem a consideração não só das características individuais e pessoais dos ocupantes, mas também das características particulares do seu contexto social. No entanto, apenas 10% dos artigos revistos se concentraram em fatores sociais e pessoais. Portanto, os autores acreditam que as abordagens multidisciplinares são necessárias para combinar parâmetros sócio pessoais através de métodos comportamentais cognitivos psicológicos que possam fornecer novos conhecimentos ao domínio.

Os autores Yao e Zhao (2017) investigaram os fatores que influenciam o comportamento da abertura de janela de ocupantes em 19 residências em Pequim. Os resultados indicaram que a temperatura do ar exterior era o fator mais influente, seguido da concentração interna de CO<sub>2</sub>, temperatura do ar interior, humidade relativa exterior e interior, concentrações ambientais de PM2.5 e direção do vento exterior e velocidade do vento.

Nas pesquisa bibliográfica realizada por Stazi, Naspi, e D'Orazio (2017b) foi encontrada referência a diversas motivações para os seguintes elementos:

- Janelas - o uso da janela é conduzido pela temperatura interna e externa e concentração de CO<sub>2</sub>. O aumento de uso está principalmente relacionado com as atividades domésticas;
- Sombreamentos e cortinas - raramente são ajustados e quase sempre para alcançar o conforto visual. No entanto, ainda é difícil avaliar qual parâmetro ambiental que é o principal fator para a operação por parte dos ocupantes;
- Ar condicionado, termostatos, ventiladores e portas - são acionados por temperaturas interiores e exteriores. Apenas o uso de ar condicionado é também dependente da hora do dia e dia da semana.

### 2.3.3. AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DOS OCUPANTES

Como indicado na Figura 6, existe uma discrepância entre o comportamento esperado para um edifício e o realmente medido quando este entra em funcionamento ou seja, depois de somada a variável “comportamento dos ocupantes”. Este facto deve-se à consideração errada dos impactos dos ocupantes nos balanços globais do edifício (Delzendeh et al. 2017). Por esta razão, o número de estudos sobre o impacto dos ocupantes nos edifícios está a crescer devido à necessidade de se reduzir a diferença entre a previsão de consumos obtida através de programas de simulação e o desempenho real dos edifícios (Jia, Srinivasan, e Raheem 2017; Hong et al. 2017; Delzendeh et al. 2017). De acordo com Delzendeh et al. (2017), os comportamentos passivos e ativos dos ocupantes com impacto nos consumos de energia dos edifícios, incluindo: abertura de janela, uso de sombreamento solar e persianas, ajuste do sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), uso de água quente, etc..., não são corretamente considerados nos programas de simulação.

O estudo dos impactos apesar de não estar na origem no acrónimo DNAS no trabalho de Hong et al. (2015) é uma parte importante da inicial “A” – ações uma vez que representa a consequência da sua existência.

Relativamente à parte mais prática do estudo dos impactos dos ocupantes, os dados analisados para se descobrirem os impactos das ações são obtidos nos instantes posteriores à sua ocorrência (Figura 8).

O estudo dos impactos dos ocupantes em edifícios habitacionais pode ser avaliado através de diversos parâmetros. De acordo com o estado da arte recolhido, indicam-se os principais impactos estudados pela bibliografia:

- Consumo de energia e água;
- Parâmetros ambientais interiores (T e HR);
- Qualidade do ar (CO<sub>2</sub> e RPH).

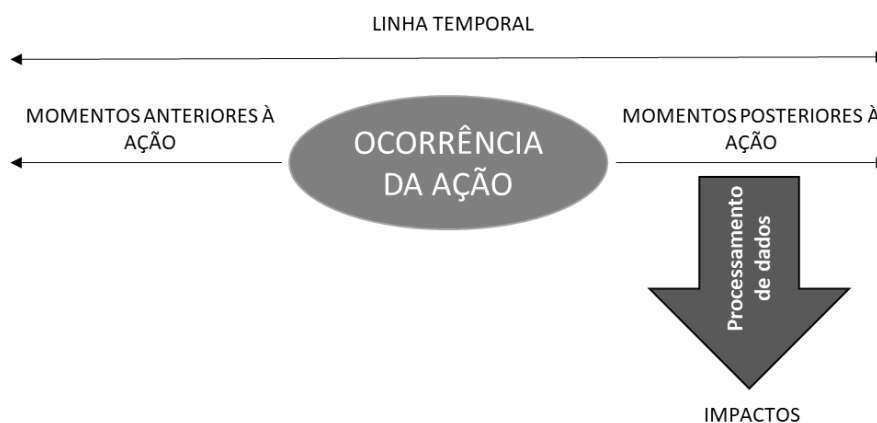


Figura 8 – Dados utilizados no estudo dos impactos das ações dos ocupantes.

Os trabalhos analisados sobre o estudo dos impactos dos ocupantes no desempenho energético, na higrotérmica e na ventilação dos edifícios residenciais, são indicados abaixo.

O trabalho realizado por Gao e Whitehouse (2009), estudou o comportamento dos ocupantes como um meio para reduzir os consumos de energia das habitações. Foi criado um sistema de controlo da climatização tendo por base a definição do utilizador acerca do equilíbrio entre energia e conforto e a

sua presença na casa. O sistema conseguir reduzir os gastos de energia em cerca de 15% face a um sistema com termostato simples.

O trabalho realizado por Guerra Santin, Itard, e Visscher (2009) teve como objetivo quantificar o efeito que o comportamento dos ocupantes tem no consumo energético de aquecimento de edifícios habitacionais. O estudo demonstrou que 42% das variações dos consumos energéticos em edifícios holandeses analisados eram da responsabilidade das características construtivas dos edifícios enquanto apenas 7,1% correspondiam ao comportamento dos ocupantes, sendo 4,2% relativos aos consumos para aquecimento. Outro trabalho realizado pelos mesmos autores encontrou uma forte correlação entre a abertura das janelas e a existência de grelhas de ventilação com o consumo de energia.

O trabalho realizado por Lu, Sookoor, et al. (2010) cuja parte experimental se realizou em 8 habitações, teve como objetivo estabelecer um sistema que rapidamente detetasse a presença dos ocupantes e o momento em que iam dormir assim como a ativação da climatização. Foram encontradas poupanças de energia de cerca de 28% ao nível da energia despendida em AVAC, não só sem sacrificar o conforto, mas ainda o melhorando. Contudo, as poupanças reduziram-se para 6,8% se não fossem colocados sensores de movimento e de estado das portas no edifício que permitissem uma melhor adaptação aos acontecimentos da casa.

O trabalho desenvolvido por Gram-Hanssen (2010), em moradias de Copenhaga, analisou pormenorizadamente 5 famílias de uma amostra inicial de 30 e obteve os gastos energéticos de cada uma delas e das temperaturas médias de cada uma das casas para os seus 3 pisos (cave, rés-do-chão e primeiro andar). Foi possível mostrar como o comportamento dos ocupantes em casas idênticas podem resultar em três vezes maior consumo de energia para aquecimento sem com isso se variar muito as condições de conforto. Este valor de consumo foi obtido comparando duas famílias com aquecimento contínuo com duas famílias com aquecimento variável. Contudo, foram também comparadas três famílias com aquecimento variável ao longo do tempo, encontrando-se diferenças de consumo de cerca de 50% e conseguindo temperaturas superiores em dois pisos e inferiores apenas no piso superior.

O projeto E3SoHo, (Messerve et al. 2010; Brassier, Adell, e Salmon 2014), foi desenvolvido em 62 casas de habitação social de 3 cidades europeias. Tinha como objetivo desenvolver um sistema de interface com os ocupantes avisando-os sobre os seus gastos energéticos e sugerindo medidas corretivas. As habitações foram monitorizadas antes e após a instalação dos sistemas de interface. Os resultados indicaram que, depois de implementado o sistema de interface, foi conseguida uma poupança energética superior a 20% ao nível do aquecimento, águas quentes sanitárias e restante eletricidade numa das cidades alvo de estudo. As medidas sugeridas pelo sistema utilizado tiveram por base as características dos edifícios e as preferências dos ocupantes. Foram elaborados questionários aos ocupantes onde as suas necessidades e preferências foram abordadas. As principais questões abordadas nos inquéritos eram relacionadas com a postura dos ocupantes relativamente ao ambiente, hábitos de consumos de energia e abertura para poupança energética por segmento.

O trabalho realizado por Whitehouse et al. (2012) demonstrou que a utilização de sistemas de controlo de temperatura utilizando sensores e funcionando de forma reativa aos parâmetros monitorizados leva a consumos de energia superiores em cerca de 10% face a sistema pré-programados. Os autores, de modo a melhorar este desempenho, criaram dois outros sistemas de programação o “self-programing thermostat” e o “smart thermostat”. O primeiro mostrou-se útil ao aferir um horário ótimo de funcionamento em função do histórico do perfil de ocupação de uma habitação. Este tipo de sistema funcionou especialmente bem em casos onde as rotinas se mantinham normalmente constantes. O sistema “smart thermostat” para além de ter em conta o histórico dos perfis de ocupação tinha uma capacidade de responder em tempo real às alterações de ocupação. Este último sistema permitiu

poupanças na ordem dos 28%. Os autores encontram-se a desenvolver um sistema que consiga ainda mais poupança através do zonamento da casa. Assim, a energia gasta para aquecimento e arrefecimento da mesma seria apenas gasta onde realmente há uso da habitação e não no seu conjunto. Este tema apesar de promissor tem-se revelado difícil de atingir pela dificuldade de monitorizar a presença de ocupantes nos compartimentos e pela dificuldade em compartimentar o aquecimento devido ao pouco hábito que existe em se fechar as portas nos edifícios residenciais.

O estudo desenvolvido por Kleiminger, Mattern, e Santini (2014) desenvolveu um algoritmo para o controlo do sistema de aquecimento baseado em métodos preditivos de perfis de ocupação que possibilitou uma poupança energética entre 6 e 17% tendo-se reduzido o risco de perda de conforto para os ocupantes.

Os autores Yang et al. (2014) simularam no DesignBuilder e no EnergyPlus o comportamento energético se um sistema AVAC durante 3 meses de um edifício dormitório. Os autores compararam o controlo real do AVAC com um modelo criado por eles em função dos dados obtidos via monitorização *in-situ*. Deste modo concluíram que o funcionamento do sistema AVAC controlado por um modelo em função das necessidades reais dos ocupantes levaria a uma redução de 20% de gás e 18% de eletricidade.

O trabalho de D'Oca, Corgnati, e Buso (2014) utilizou uma combinações de meios de informação dos ocupantes como gráficos em tempo real e dados de histórico sobre consumos próprios de cada habitação e de outras habitações similares. O objetivo foi incutir uma consciência de economia energética através do encorajamento da competitividade entre habitações similares e fornecimento de dicas personalizadas como meios de economizar energia. O estudo concluiu que uma comunicação persuasiva acerca da poupança energética pode contribuir diretamente para uma redução média do consumo energético entre 18% e 57%.

No estudo de Calì, Osterhage, et al. (2016) foi usado um sistema de monitorização que permitiu uma comparação entre o consumo de energia real e esperado dos edifícios durante 4 anos. Durante o período de monitorização chegou-se a diferenças de até 287% de desfasamento. Em média, o desfasamento do desempenho energético durante o tempo de monitorização variou em 117% no ano de 2011, 107% em 2012, 41 % em 2013 e 60% em 2014. O comportamento dos ocupantes foi identificado como uma das causas da diferença encontradas. Foram ainda apontadas outras causas como problemas na mão de obra e mau funcionamento dos sistemas instalados nos edifícios.

Os autores Johansson, Pallin, e Shahriari (2010) realizaram um estado da arte muito abrangente sobre o efeito dos ocupantes na qualidade do ambiente interior ao nível da humidade. Neste estudo foram abordadas as seguintes fontes de produção de humidade: banho/*jacuzzi*; duche; sauna; preparação de comida; lavagem de louça à mão; lavagem de louça à máquina; tratamento de roupa; passar a ferro; lavar o chão; metabolismo humano; metabolismo de animais de estimação; aquários; plantas. De acordo com os mesmos, existem três fatores principais a considerar para categorizar a influência de determinados eventos:

- Altura da ocorrência desse evento (Tabela 48, Figura 129, Figura 130, Figura 131, Tabela 53, Figura 132, Figura 133, Figura 134 – no Anexo I);
- Duração/existência desse evento (Tabela 49, Tabela 50, Tabela 54, Tabela 56, Tabela 57, Tabela 60, Tabela 61, Tabela 62, Tabela 65 – no Anexo I);
- Produção de vapor de água (Tabela 50, Tabela 52, Tabela 54, Tabela 55, Tabela 56, Tabela 57, Tabela 58, Tabela 59, Tabela 60, Tabela 61, Tabela 62, Tabela 63, Tabela 64, Tabela 65, Tabela 66 – no Anexo I).

O trabalho apresentou também valores médios da produção de vapor de famílias em função do tipo de habitação. Estes valores são baseados em estudos de vários autores, podendo o valor médio para moradias unifamiliares variam de 5,1 kg a 9,8 kg. O estudo desenvolveu um trabalho de simulação com 10 000 iterações tendo-se obtido os valores apresentados na Tabela 64 – no Anexo I. De acordo com as simulações elaboradas neste estudo, foi possível apresentar as cinco fontes com maior contribuição para a produção de vapor de água (Tabela 66 – no Anexo I).

Os autores Hendron e Engebrecht (2010) num estudo de benchmarking, apresentaram perfis de utilização dos edifícios habitacionais ao nível do uso da banheira, duche, máquina de lavar louça, máquina de lavar roupa, iluminação e eletrodomésticos gerais (Figura 135 a Figura 140 – no Anexo I).

De acordo com o estudo realizado por Kvisgaard e Collet (1986), o valor de RPH das residências estudadas com ventilação natural foi inferior ao valor nas residências com ventilação mecânica. Contudo, não foi encontrada nenhuma relação entre a temperatura interior e a exterior e o número de ocupantes com os valores encontrados de RPH. Contudo, encontraram relações entre as ações dos ocupantes com o RPH das residências com ventilação natural, sendo os ocupantes responsáveis por 63% das taxas de RPH. O estudo conclui também que as principais ações com influência nas RPH da habitação eram as operações das janelas e portas.

O estudo desenvolvido por Iwashita e Akasaka (1997) descobriu que o comportamento dos ocupantes é responsável por 87% das taxas de renovação de ar das frações. Foram medidas as taxas de renovação de ar pelo método dos gases traçadores com as habitações desocupadas tendo o mesmo procedimento sido adotado quando as habitações se encontravam em uso. Neste estudo não foi encontrada uma boa correlação entre o consumo de energia e as taxas de ventilação encontradas.

Os autores Howard-Reed, Wallace, e Ott (2002), que estudaram 2 moradias no leste e oeste dos EUA, descobriram que a abertura das janelas produziu o maior aumento na taxa de mudança de ar em comparação com os efeitos meteorológicos (diferenças de temperatura no vento e no interior / exterior) com janelas fechadas. Os autores consideraram que a operação de janelas pelos ocupantes era a principal influência dos ocupantes na ventilação das habitações. Os autores também descobriram que a abertura das janelas em alguns centímetros, geralmente conduzia a um rápido afluxo de ar, mas restringido a um pequeno volume da casa. No entanto, nos dados apresentados pelos autores, é possível observar que as RPH induzidas pela abertura das janelas não eram linearmente correlacionadas com a área de abertura das janelas.

O estudo de Wallace, Emmerich, e Howard-Reed (2002) encontrou uma grande influência da abertura de janelas dos ocupantes nas RPH. As RPH variaram de alguns décimos para os picos de  $4 \text{ h}^{-1}$ , embora apenas por curtos períodos de tempo. Os autores também descobriram que as diferenças de temperatura entre o interior e o exterior têm uma correlação muito boa com o valor de RPH. Mostraram que o efeito típico de abertura das janelas influencia o valor das renovações de ar por hora em  $1 \text{ h}^{-1}$ . Os padrões de abertura das janelas foram obtidos, concluindo-se que os ocupantes mantêm as janelas abertas em metade do tempo no verão e uma percentagem reduzida no inverno. Esse comportamento é um dos principais fatores para o aumento das renovações no verão. O valor de RPH no verão foi três vezes superior ao registado no inverno.

De acordo com os autores Ramos et al. (2015) foi possível medir o impacto do comportamento dos ocupantes ao nível da ventilação e da estagnidade ao ar de edifícios. Foram analisados dados de 49 frações autónomas de 2 bairros sociais, um reabilitado e outro não reabilitado. Os dados analisados permitiram concluir que a influência do utilizador provocou uma alteração média do  $\text{RPH}_{50}$  de  $7,7 \text{ h}^{-1}$  para  $4,3 \text{ h}^{-1}$ . Foi também possível observar uma alteração da média do RPH ao longo do ano. Foram obtidos valores de  $0,35 \text{ h}^{-1}$  em dezembro e  $1,01 \text{ h}^{-1}$  em agosto. Enquanto as primeiras alterações são



introduzidas pelos ocupantes de modo geralmente permanente, as segundas são pontuais e conseguidas essencialmente por abertura de janelas. O trabalho conseguiu ainda obter uma tendência relativamente ao número de horas de abertura de janelas com o valor de  $RPH_{50}$  de cada fração. Esta relação é mais clara nos edifícios reabilitados onde o  $RPH_{50}$  é, em média, mais reduzido.

#### 2.3.4. MODELAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS OCUPANTES

Os modelos do comportamento dos ocupantes constituem uma ferramenta importante para esta área de estudos, contribuindo decisivamente para os seus dois objetivos principais, indicados no capítulo 1.1. Em geral, os modelos de previsão do comportamento dos ocupantes são definidos em função das motivações que estão na génese das ações dos ocupantes, contudo podem também existir modelos do comportamento dos ocupantes sob a forma de perfis tipo sendo, neste caso, utilizados os impactos dessas mesmas ações. A utilidade dos modelos comportamentais dos ocupantes é abrangente, sendo estes utilizados tanto na fase de conceção do edifício, como na fase de serviço. De modo a assegurar-se que os modelos são fiáveis na utilização em fase de projeto, é necessário que os modelos prevejam, de forma precisa, o comportamento dos ocupantes. Contudo, tratando-se de um trabalho prévio de simulação, os dados utilizados para a construção dos modelos têm por base os dados colecionados noutros edifícios sem ser o alvo de projeto. Esta particularidade requer que o modelo distinga as características principais dos ocupantes e encontre as particularidades específicas e não extrapoláveis nos casos alvo de recolha de dados (Wilke et al. 2013; D'Oca et al. 2014; Yan et al. 2017). Por outro lado, há autores que usam os modelos para definir os valores dos indicadores (*triggers*) que despoletam determinadas ações de um BAS/EMS/BMS (Stazi et al. 2017; D'Oca, Corgnati, e Buso 2014).

Existem ainda cada vez mais autores a optarem por modelos probabilísticos em vez dos determinísticos (Wilke et al. 2013; D'Oca et al. 2014; Fabi et al. 2013; Yan et al. 2015), sendo que os autores D'Oca et al. (2014) indicam que o uso de modelos preditivos do comportamento dos ocupantes trará vantagens em todo o ciclo do edifício:

- Fase de projeto: prever o uso real de energia dos edifícios em fase de serviço. O modelo de simulação melhorado irá suportar a tomada de decisão na fase inicial do projeto;
- Fase de operação: usando modelos preditivos e algoritmos sobre o comportamento dos ocupantes embutidos nos BAS|EMS|BMS para fornecer indicações sobre a utilização ideal através de uma comunicação "inteligente";
- Construção: avaliando o impacto do comportamento dos ocupantes em diferentes tipos de soluções de tecnologia de construção;
- Gestão de edifícios: permitindo construir sistemas de controlo, uso de aparelhos e mapeamento de nível de conforto;
- Código e política de construção: contribuir para o desenvolvimento de normas de construção, quantificando a variação da poupança energética das tecnologias relacionadas com o comportamento dos ocupantes.

Os modelos comportamentais geralmente são focados numa única ação, desencadeada por uma ou mais variáveis ambientais. No entanto, em estudos mais recentes existe uma introdução a abordagens mais complexas considerando muitos comportamentos, a interação entre ocupantes e diferentes estilos de vida. A conexão entre modelos comportamentais e software de simulação está a caminhar para uma abordagem de co simulação, de modo a obter resultados mais realistas (Stazi, Naspì, e D'Orazio 2017b).

De acordo com Melfi et al. (2011) existem três dimensões ao nível da modelação dos edifícios: temporal; espacial e ocupacional (Figura 9). Este estudo refere que a dimensão temporal se preocupa com a

definição do tempo no qual ocorrerão os eventos. A dimensão espacial define o local onde esses eventos tomam lugar e a ocupacional incide sobre o comportamento em si, ao nível do número de ocupantes, das suas atividades, do tipo de ocupantes e do seu estado, por exemplo.

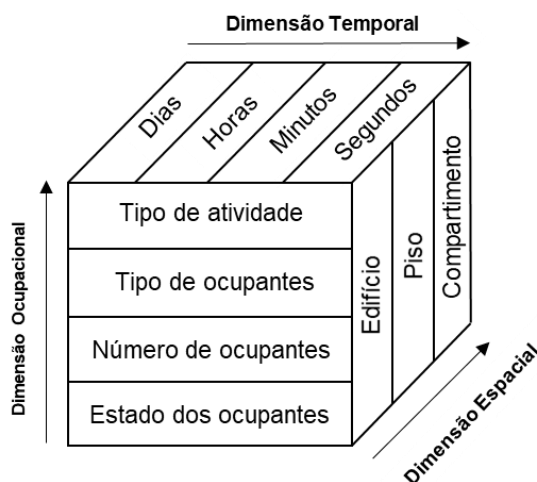


Figura 9 – Dimensões da modelação [adaptado de Melfi et al. (2011)].

Os modelos comportamentais são então desenvolvidos para prever a probabilidade de um ocupante interagir com o edifício. Modelos implícitos são usados para entender as motivações por trás do comportamento dos ocupantes ou para prever o estado de um sistema de um edifício ou a ocorrência da ação de um ocupante, com base numa variável indicadora. Os modelos explícitos são usados para fornecer uma descrição personalizada ou previsão futura do estado de um sistema do edifício ou das ações dos ocupantes, com base no comportamento real, monitorizado, do próprio ocupante. Em ambos os casos, os modelos estatísticos e de “data mining” são usados para obter informações sobre padrões repetitivos do comportamento dos ocupantes e interações com o edifício, fornecendo informações sobre os perfis dos ocupantes (Hong et al. 2015).

Como indicado por Stazi, Naspi, e D'Orazio (2017a), quando se pretende relacionar com a ação mais do que um parâmetro, o uso de regressões logísticas é o mais adequado. No estudo realizado por Yao e Zhao (2017) os modelos preditivos do comportamento de abertura das janelas dos ocupantes foram estabelecidos com base na regressão logística linear multivariada. Estudos anteriores (Calì, Andersen, et al. 2016) também utilizaram as regressões logísticas para analisarem modelos binários do estado de janelas para os associarem às motivações que provocaram a sua alteração de estado. No mesmo sentido, D'Oca et al. (2014) utilizaram regressões logísticas nos modelos probabilísticos de simulação do comportamento dos ocupantes ao nível da operação de janelas e de termostatos. Os autores (Rijal, Humphreys, e Nicol 2015) utilizaram as funções logísticas para prever a probabilidade de operação de janelas e ventiladores. Herkel, Knapp, e Pfafferott (2008) usaram a “logit-function” proposta por Nicol (2001) para relacionar a abertura de janelas com a temperatura exterior. Anteriormente, Hastie e Tibshirani (1986) tinha utilizado regressões logísticas para avaliar modelos binários em medicina.

As regressões logísticas apresentam o mesmo princípio das regressões lineares, com o objetivo de ajustar o modelo matemático a uma série de dados. Contudo, no modelo logístico pode-se usar variáveis dependentes categóricas binárias enquanto nas regressões lineares a variável é contínua. Não há necessidade de haver uma distribuição normal embora sejam de evitar valores atípicos. Para se usar o modelo logístico é necessário testar a múltipla colinearidade, ou seja, não haver forte correlação entre

as variáveis dependentes. Uma vez tratem-se de variáveis categóricas, o uso do coeficiente de Pearson é desaconselhado, podendo usar-se o coeficiente de Spearman para o mesmo efeito. Por outro lado, o coeficiente de Pearson é desaconselhado para séries com distribuição não normal enquanto o coeficiente de Spearman pode ser usado nesses casos (Lehman et al. 2013).

O valor do coeficiente de Spearman ( $\rho$ ) é dado pela equação (1) de acordo com Hollander, Wolfe, e Chicken (2013).

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \quad (1)$$

Onde:

n - número de pares ( $x_i$ ,  $y_i$ );

$d_i$  – diferença entre os postos de  $x_i$  e  $y_i$ .

O coeficiente de Spearman varia entre -1 e 1. Os valores extremos correspondem a correlações perfeitas e o valor de 0 à inexistência de qualquer correlação. O sinal positivo indica uma correlação positiva, ou seja, as categorias mais elevadas de uma determinada variável correspondem às categorias mais elevadas da outra variável com que se está a testar a correlação.

De acordo com Hinkle, Wiersma, e Jurs (2003), a interpretação dos coeficientes indicados pode seguir o definido na Tabela 1.

Tabela 1 – Qualificação dos coeficientes de correlação.

Coeficiente de correlação	Interpretação
ABS (0,9 a 1,0)	Correlação muito elevada
ABS (0,7 a 0,9)	Correlação elevada
ABS (0,5 a 0,7)	Correlação moderada
ABS (0,3 a 0,5)	Baixa correlação
ABS (0,0 a 0,3)	Correlação desprezável

Os coeficientes de correlação são úteis para relacionar ações com as motivações ou impactos sob a forma de uma previsão de acordo com a aprendizagem obtida através de uma série de dados de treino. As regressões logísticas, por serem expressas sob a forma de probabilidade de ocorrência tomando valores entre 0 e 1 são fáceis de analisar e mais capazes de prever o comportamento do modelo perto dos seus extremos (0 e 1) uma vez que as regressões lineares não são apropriadas para modelos cujas variáveis não tenham uma distribuição normal (Gunay, O'Brien, e Beausoleil-Morrison 2013). De acordo com Nicol (2001), a distribuição de probabilidades de um evento particular pode ser calculada pela “logit function” definida pela equação (2).

$$p(A_i) = \frac{\exp(\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_n X_n)}{1 + \exp(\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_n X_n)} \quad (2)$$

Onde:

$p(A_i)$  – é a probabilidade da ação  $i$  ( $A_i$ ) ocorrer;

$\alpha$  – é uma constante da função relacionada com a intercepção;

$\beta$  – é uma constante da função relacionada com a inclinação;

$X$  – é a variável à qual se pretende relacionar a probabilidade de ocorrer a ação

De acordo com Yan et al. (2015), existem três formas estocásticas principais de modelação do comportamento dos ocupantes:

- Processos de Bernoulli – a probabilidade de um evento ocorrer é independente do estado anterior (memoryless). Estes modelos são aplicáveis a todo o edifício, sendo úteis para modelação de energia a larga escala, mas sem utilidade para descrições individuais, não sendo capazes de prever o tempo de ocorrência de comportamentos;
- Cadeias de Markov de tempo discreto – estes modelos dependem do estado anterior para prever a probabilidade. Estes modelos são muito utilizados para prever comportamentos individuais e as motivações para essas ações. As extensões de Markov usam modelos baseados em agentes. Um modelo baseado em agentes interessante para a caracterização do comportamento dos ocupantes de edifícios são os Belief Desite Intention;
- Análises de sobrevivência – muito utilizados para prever a probabilidade de tempo de vida de indivíduos, são utilizados noutras circunstâncias para prever o tempo que demora a ocorrer um determinado evento.

Relativamente a esta temática foram analisados, de forma não exaustiva, trabalhos de diversos autores, indicando-se de seguido alguns dos mais relevantes.

No projeto de Mozer (2005), foi criado um conceito de edifício inteligente adaptável ao comportamento dos ocupantes. A casa coleciona informações dos ocupantes e cria perfis de utilização, de modo a prever e antecipar as necessidades dos ocupantes.

O projeto AIM (Barbato et al. 2009), tinha como objetivo desenvolver tecnologias que permitissem criar perfis e otimizar padrões de consumo de energia. No projeto foram utilizadas redes de sensores sem fio para monitorizar os parâmetros físicos (como luz e temperatura), bem como a presença de ocupantes nos compartimentos da casa. Os dados recolhidos pelo sistema de sensores é a base para se traçarem perfis do comportamento dos ocupantes. Foram criados vários perfis diários individualizando diferentes parâmetros como o perfil de temperaturas, o perfil de ocupação e o perfil de iluminação. Depois foram criados clusters agrupando perfis semelhantes. Tendo por base os perfis comportamentais dos ocupantes e a monitorização em tempo real, foi criado um algoritmo de previsão (auto adaptável) capaz de otimizar o consumo de energia e de custos, garantindo simultaneamente o nível de conforto necessário. Quando os ocupantes mudam os seus hábitos, devido a eventos imprevisíveis, o sistema é capaz de detetar previsões erradas tendo por base as informações obtidas em tempo real e modificar o comportamento do sistema em conformidade.

O trabalho realizado por Hawarah, Ploix, e Jacomino (2010) teve como objetivo criar um modelo preditivo para as necessidades de consumos dos ocupantes de habitações. Este modelo pretende evitar picos de consumo. O modelo preditivo baseia-se na rede Bayesiana para diagnosticar e prever o comportamento dos ocupantes nas habitações. O modelo baseou-se em dados de utilização de eletrodomésticos provenientes da base de dados proveniente do projeto REMODECE (2015). Foram

criados perfis de utilizador clusterizando as casas em função do número de ocupantes e separando o verão do inverno, assim como os fins de semana e os feriados.

Os autores Lu, Sookoor, et al. (2010) usaram o modelo oculto de Markov para estimar a probabilidade de os ocupantes se encontrarem em três estágios: fora de casa, em casa e com um ocupante acordado e em casa mas com todos os ocupantes a dormir. Os padrões de ocupação foram considerados essenciais para melhorar o funcionamento do sistema. Esses padrões de ocupação foram construídos tendo por base os dados recolhidos neste estudo em 8 habitações, dados anteriores obtidos na monitorização de 41 habitações e dados de duas bases de dados de EI. De modo a simular e otimizar o funcionamento do sistema estes autores usaram o EnergyPlus, sendo que o resultado final foi validado em dois edifícios. O sistema criado funcionava de forma generalizada para toda a habitação, podendo ainda ser mais otimizado se fosse segmentado por compartimento.

No estudo realizado por Dong, Lam, e Neuman (2011), foram criados modelos preditivos de ocupação e de meteorologia. Para os modelos de ocupação foram usados dois tipos de modelos de análise de dados, o Gaussian Mixture Models e o Markov Model. Em função das previsões, foi criado um sistema de controlo da climatização tendo-se obtido uma poupança de cerca de 18% face a um sistema pré-programado sendo que se conseguiu diminuir o tempo em que a temperatura ideal não era alcançada enquanto o espaço estava ocupado, aumentando-se assim o conforto térmico do espaço.

O estudo de Antretter, Mayer, e Wellisch (2011) foi realizado em 17 edifícios residenciais na Alemanha e teve como objetivo a definição de um modelo preditivo da abertura das janelas. Para tal foram monitorizadas as habitações durante 2 anos ao nível da temperatura e humidade relativa do ar interior e exterior, velocidade do ar exterior e estado das janelas medido em segundos de abertura por hora.

O estudo realizado por Bao, Allerding, e Schmeck (2011) partiu do princípio que a utilização dos equipamentos elétricos das habitações é iniciada pelos ocupantes mas que desencadeia uma série de ações subsequentes que podem ser padronizadas e como tal previstas com antecipação. Com base na previsão de consumos de energia foi criado um sistema autónomo para fazer a gestão do balanço energético entre as necessidades e as produções de energia e a coordenação das centrais de energia descentralizadas. Para os métodos preditivos de consumo de energia foram usados dois tipos de métodos. Um baseado no modelo Semi Markov de 1ª ordem e outro designado por “Modelo do dia tipo”. Este último assume que existe uma certa regularidade de uso de equipamentos e de hábitos por dia, podendo-se criar clusters dos chamados dias tipo.

O projeto ThinkHome (Reinisch et al. 2011), realizado em Viena em cinco casas modelo, tentou evoluir o conceito de casa inteligente, de modo a otimizar o conforto dos ocupantes, melhorando a eficiência energética. Uma das formas encontradas para reduzir os gastos de energia sem se perder o conforto térmico e visual foi a monitorização da presença dos ocupantes nos diversos compartimentos da casa. Neste projeto foram usados autómatos para simular as atividades dos ocupantes nos edifícios. Contudo, o comportamento dos ocupantes foi também estudado, tendo-se dividido os ocupantes de acordo com algumas características (idade, género, etc...) e de acordo com perfis de utilização. As condições exteriores de clima foram também consideradas fundamentais para se alcançar o objetivo do projeto. Um dos pontos mais importantes do projeto foi a criação de perfis de utilização da casa. Para estabelecer perfis de utilização utilizou-se a informação recolhida por sensores, armazenada e agrupada por dias. Os dados são depois utilizados como inputs em programas de clusterização cujo objetivo é a obtenção de um padrão comportamental que servirá de base para a programação dos dias posteriores. Foram comparados resultados entre um sistema que liga o aquecimento apenas através de presença de ocupantes e outro com a variável do perfil dos ocupantes. Apesar do sistema que apenas funciona em

função da presença de ocupantes ter apresentado menos gastos de energia, o sistema com a inclusão dos perfis dos ocupantes melhora significativamente o conforto dos ocupantes.

O trabalho de Wilke et al. (2013) desenvolveu modelos das atividades dos ocupantes em ambiente residencial baseados na probabilidade de ocorrência do início dessas atividades e a sua provável duração. Os dados obtidos em questionários foram agrupados em subgrupos para evitar desvios consideráveis. O encadeamento das tarefas dos ocupantes foi também modelado tendo por base as cadeias de Markov. Os resultados dos testes de validação mostraram a eficácia deste procedimento na previsão do encadeamento de tarefas e na ligação de características individuais com a probabilidade de início e a distribuição e duração das atividades. O objetivo deste modelo é apoiar a representação mais precisa dos comportamentos dos ocupantes relacionados com o consumo de energia em programas de simulação.

O trabalho dos autores Fabi et al. (2013) apresentou uma metodologia para modelar o comportamento dos ocupantes no contexto do uso real de energia e aplicado a um estudo de caso. A metodologia, baseada numa monitorização de médio / longo prazo, visa mudar para uma abordagem probabilística na modelação do comportamento humano relacionado com o controle do ambiente interior. Com esta abordagem conseguiu-se contruir modelos baseados em dados monitorizados permitindo obter distribuições de probabilidades do consumo de energia e qualidade ambiental interna dependendo do comportamento dos ocupantes.

O estudo realizado pelos autores Ahmed, Faouzi, e Caelen (2013), utiliza a ferramenta SVM lights (Support Vector Machines). Esta ferramenta é um método normalmente utilizado para reconhecer padrões ou classificar eventos, particularmente talhado para trabalhar com grandes bases de dados de texto ou imagens embora também consiga bons resultados com pequenas bases de dados. Esta ferramenta foi usada para aprender quais os comportamentos dos ocupantes e criar os modelos desses comportamentos. No caso em questão, foram criados 11 modelos. Numa fase posterior, esta ferramenta classifica as imagens recolhidas, correspondendo a ações dos ocupantes, e atribui a essas ações a sua correspondência aos modelos existentes. Deste modo, através de câmara de filmar, é possível construir-se uma base de dados com as ações dos ocupantes.

O projeto “CASAS-Sustain System” (Chen, Cook, e Crandall 2013) criou um modelo preditivo baseado num algoritmo previamente treinado. Todas as atividades que os ocupantes realizam têm alguma relação com características mensuráveis, como a hora do dia, os padrões de movimento dos ocupantes e o estado ligado/desligado de vários aparelhos elétricos. Estas atividades são direta ou indiretamente associadas a um número de aparelhos elétricos e, por conseguinte, têm um padrão único de consumo de energia. Deve-se notar que existem alguns aparelhos que estão sempre ligados, como o aquecedor (no inverno), frigorífico, carregador de telefone, etc. Assim, correlacionou-se as atividades com o uso de energia. O projeto comparou ainda três métodos de treinar os algoritmos: Redes Bayesianas; Support Vector Machines e Redes Neurais Artificiais. Neste projeto foram atingidos níveis de precisão das previsões com o real entre 70% a 90%.

Um estudo realizado na Bélgica (Aerts et al. 2013) criou um perfil comportamental dos ocupantes de edifícios habitacionais tendo em conta os dados de 6400 pessoas de 3474 habitações. Os perfis criados tiveram como objetivo aumentar o conhecimento do comportamento dos ocupantes para as simulações dos edifícios. O estudo permitiu a criação de um perfil para ocupantes em casa e acordados, a dormir e ausente de casa.

O trabalho dos autores D'Oca et al. (2014) detetou uma reduzida exatidão na simulação dinâmica de edifícios habitacionais por não haver uma boa representação do comportamento dos ocupantes. Para melhorar as simulações, os autores desenvolveram um estudo do comportamento dos ocupantes em edifícios habitacionais tendo por base uma abordagem probabilística. Foram monitorizados alguns

parâmetros físicos e comportamentais dos ocupantes que construíram a base estatística. Foi utilizado um programa estatístico para determinar quais os parâmetros físicos que mais influenciaram a abertura das janelas e a alteração dos set-points do sistema de aquecimento. Foi depois criada uma fórmula de regressão logística múltipla para se aferir a probabilidade de cada um dos três perfis de ocupantes abrir a janela ou alterar os set-points do sistema de aquecimento. Os autores utilizaram os perfis de ocupantes criados para simulações dinâmicas em três regiões: um clima mediterrâneo (Atenas), um clima nórdico (Estocolmo) e um clima continental (Frankfurt).

O estudo desenvolvido por Kleiminger, Mattern, e Santini (2014) utilizou perfis de ocupação para melhorar o desempenho de um sistema de controlo do aquecimento inteligente. O estudo baseou-se num algoritmo de pré-aquecimento de outro autor. Foram avaliadas 45 habitações para a construção do algoritmo de previsão de ocupação. O algoritmo desenvolvido conseguiu uma exatidão de 80% na previsão da ocupação.

O trabalho realizado por Silva e Ghisi (2014) teve como objetivo analisar e quantificar as incertezas existentes numa simulação numérica de um tipo de edifício do Brasil. O programa de simulação utilizado foi o EnergyPlus. Os resultados demonstraram que existem incertezas relacionadas com o comportamento dos ocupantes e incertezas relacionadas com os parâmetros físicos do edifício. Relativamente aos gastos de energia para aquecimento, foram encontradas incertezas relativamente comportamento dos ocupantes de 36,5% e 38% para o aquecimento e arrefecimento, respetivamente. Os autores consideraram de grande importância a quantificação desta incerteza e a determinação da fiabilidade das simulações. No trabalho desenvolvido, estes parâmetros foram apenas obtidos através de análises de sensibilidade. Os autores identificaram as variáveis: n.º de ocupantes; horários dos ocupantes e potência dos equipamentos, como aquelas cuja determinação deve ser cuidada.

De acordo com os autores Wei, Jones, e Wilde (2014), foram encontrados 27 parâmetros para modelar o comportamento dos ocupantes. Num programa de simulação do desempenho dos edifícios apenas alguns desses fatores são considerados pelo que a simulação perde precisão. Contudo, a inclusão de todos os 27 parâmetros levaria a que o tempo de simulação fosse muito superior ao atual para além do tempo necessário para os definir corretamente, apesar das vantagens óbvias ao nível da precisão. Os autores concluíram que seria importante definir os principais fatores que influenciam o comportamento dos edifícios de modo a que apenas estes sejam incluídos na simulação de modo a atingir-se a melhor relação da precisão com os recursos despendidos. Um dos desenvolvimentos futuros propostos é a quantificação dos fatores mais determinantes.

Os autores Yang et al. (2014) utilizam os seguintes algoritmos de classificação de “machine learning” que são mais usados na literatura para modelação da ocupação: support vector machine, 13 k-nearest neighbors, artificial neural network, naïve Bayesian, naïve Bayes network e árvores de decisão. Para implementar estes algoritmos foram usados os pacotes WEKA v. 3.7 da Universidade de Waikato, Nova Zelândia.

No estudo de Calì, Andersen, et al. (2016) foram analisadas as aberturas das janelas de 67 frações habitacionais. De acordo com este estudo o uso de funções logísticas é adequado para determinar a probabilidade de ocorrência de um evento binário em função de parâmetros interiores e/ou exteriores.

## 2.4. REQUISITOS RELEVANTES PARA A ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS OCUPANTES

### 2.4.1. CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico pode ser considerado como um balanço térmico, como inicialmente proposto por Fanger (1970) através da equação (3), esquematizada pela ASHRAE-Fundamentals (2009) na Figura 10. O autor Fanger (1970) definiu o equilíbrio térmico é uma condição necessária mas não suficiente para o conforto térmico. Segundo o autor, o propósito da termorregulação do corpo é a manutenção de uma temperatura constante no corpo.

$$H = M - W \quad (3)$$

Onde:

H = Produção interna de calor no corpo humano;

M = Metabolismo;

W = Trabalho mecânico realizado.

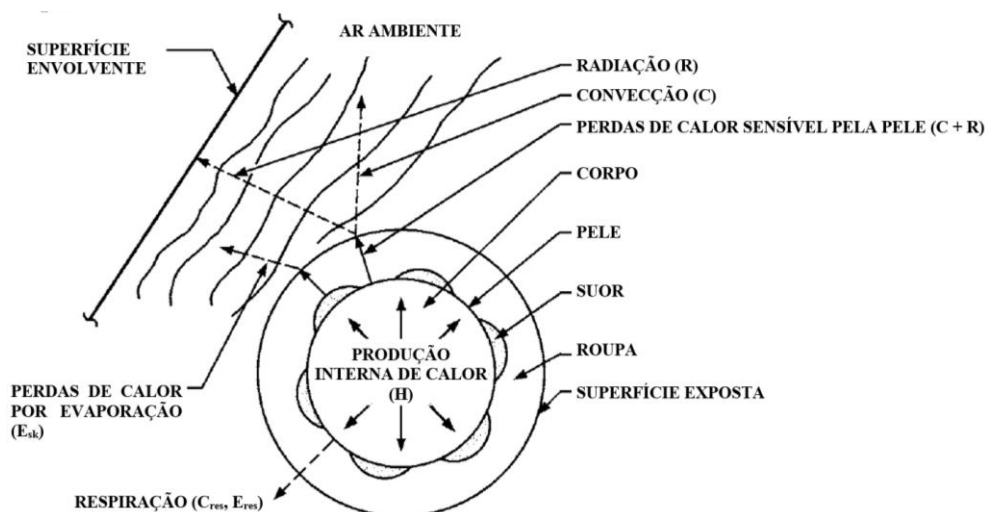


Figura 10 – Interação térmica do corpo humano com o ambiente exterior, adaptado de (ASHRAE-Fundamentals 2009).

O equilíbrio térmico pode ser deste modo entendido como o balanço entre os fenômenos físicos internos e externos ao ser humano.

O conforto térmico não é fácil de atingir de modo generalizado, não havendo garantias de satisfação plena de todos os ocupantes mesmo quando sujeitos às mesmas condições. Para além dos fenômenos físicos que condicionam o equilíbrio térmico do ser humano existem outros dificilmente mensuráveis. Devido aos diferentes tipos de variáveis que influenciam o conforto humano, é comum dividir-se os parâmetros que influenciam o conforto térmico em três categorias (Macpherson 1962; Gagge, Fobelets, e Berglund 1986; Auliciems e Szokolay V. 1997; Rohles 2007; Matias 2010):

- Características físicas específicas do ser humano: taxa de metabolismo; vestuário;
- Características físicas do ambiente externo ao ser humano: temperatura do ar; temperatura média radiante; humidade do ar; velocidade do ar;



- Outros fatores subjetivos: tempo de exposição a determinada temperatura e humidade relativa; informação sobre os valores temperatura de um dado espaço; altura do dia e ano; período de adaptação; idade; sexo; atividade mental; preferências; experiências passadas.

A produção interna de calor no corpo humano resulta da energia produzida pelo corpo humano (taxa de metabolismo - M). Nos documentos normativos ISO-8996 (2004) e ASHRAE-Fundamentals (2009) podem ser encontradas tabelas onde estão indicadas taxas de metabolismo de referência. Essas tabelas foram elaboradas para indivíduos com cerca de 1,8 m<sup>2</sup> que corresponde aos valores médios de um adulto (1,7 m de altura e 70 kg). A estimativa da superfície corporal de um humano foi inicialmente proposta por Du Bois e Du Bois (1916), sendo costume a referência a essa área como área de DuBois.

A unidade mais usada para a taxa de metabolismo é o “met” sendo que a sua unidade representa a taxa de metabolismo de um adulto, com as características supracitadas, sentado e em repouso. Considera-se assim que 1 met é equivalente a 58,15 W/m<sup>2</sup> e aproximadamente 100 W. Apesar de existirem valores de referência para um adulto médio, a taxa de metabolismo varia de indivíduo para indivíduo consoante a sua idade, estado de saúde, preparação física e sexo. Um homem com 20 anos e saudável tem uma capacidade máxima de 12 met (20 met se for atleta de alta competição e 10 met se for sedentário) enquanto com 70 anos tem capacidade máxima de 7 met. Em geral, considera-se que as mulheres têm capacidade para taxas de metabolismo 30% inferiores às dos homens (ISO-8996 2004; ASHRAE-Fundamentals 2009).

Indicam-se na Tabela 2 algumas taxas de metabolismo de referência para as atividades mais comuns no interior de uma habitação.

Tabela 2 – Taxas de metabolismo de algumas atividades (ISO-8996 2004; ASHRAE-Fundamentals 2009).

Atividades comuns no interior de uma habitação		Taxa de metabolismo	
		(W/m <sup>2</sup> )	Met
Repouso	A dormir	40	0,7
	Deitado	45	0,8
	Sentado	58-60	1,0
	De pé, relaxado	70	1,2
Caminhar em superfície horizontal			
	2 km/h	110	1,9
	3,2 km/h	115	2,0
Atividades diversas	Sentado, a ler	55	1,0
	Atividades sedentárias	70	1,2
	Cozinhar	95-115	1,6-2,0
	Limpeza de casa	115-200	2,0-3,4

O vestuário que os seres humanos usam funciona como um isolamento térmico ( $I_{cl}$ ) que dificulta a dissipação de calor entre o corpo e o meio envolvente. A unidade mais utilizada para quantificar o isolamento térmico do vestuário é o “clo” sendo que a sua unidade representa uma resistência térmica

(Rt) de 0,155 m<sup>2</sup>.°C/W. A nível de representação concreta de vestuário, 1 clo corresponde a um fato e roupa interior de algodão.

Nos documentos normativos ISO-7730 (2005), EN/ISO-9920 (2007), ASHRAE-Fundamentals (2009) e ASHRAE-55 (2010) são apresentadas tabelas de valores da resistência térmica de vestuário. Estas tabelas foram elaboradas considerando pessoas em pé com uma taxa de metabolismo de 1 met. Os valores contidos nas tabelas são válidos para a área de DuBois pelo que as partes do corpo que não estão protegidas pelo vestuário também foram contabilizadas. Na Tabela 3 apresentam-se algumas conjunções de vestuário mais comumente usadas, numa habitação.

Existem alguns fatores que podem condicionar o valor da resistência térmica do vestuário como por exemplo:

- Postura do ser humano;
- Efeito dos objetos em contacto com o vestuário do ser humano (cadeiras, p. ex.);
- Atividade do ser humano;
- Velocidade do vento através do vestuário.

Tabela 3 – Isolamento térmico de combinações de vestuário.

Descrição das combinações de vestuário	Resistência térmica	
	(clo)	(m <sup>2</sup> .°C/W)
Sem vestuário	0	0
Meias leves, roupa interior inferior, t-shirt, calções e sandálias	0,3	0,050
Meias leves, roupa interior inferior, camisa de manga curta, calças leves e sapatos	0,5	0,080
Meias, roupa interior inferior, calças, camisa, casaco e sapatos	1,0	0,155
Meias, roupa interior superior de manga comprida e inferior de perna comprida, camisa, colete, camisola, calças, casaco e sapatos	1,5	0,230

A temperatura do ar (T) é um dos fatores mais importantes para o conforto. A temperatura considerada é a temperatura de bolbo seco. A temperatura de bolbo seco ou temperatura seca é obtida através de um termómetro de mercúrio. Esta temperatura difere da temperatura de bolbo húmido ou temperatura húmida, por esta última ser obtida envolvendo-se a ponta do termómetro numa gaze permanentemente húmida que, por ação da velocidade do vento, sofre processo de evaporação. Este processo de evaporação leva a que haja um consumo de energia latente e como tal diminua a temperatura registada no termómetro face à temperatura seca (Moret Rodrigues, Canha da Piedade, e Braga 2009). A temperatura húmida pode ser obtida através da temperatura seca utilizando-se o diagrama psicrométrico. O parâmetro temperatura do ar é importante para a determinação da dissipação de calor por convecção entre o corpo humano e o ambiente envolvente.

A humidade do ar define-se a partir da quantidade de vapor que ele contém, em volume ou em massa (de Freitas e Silva Pinto 1998). A humidade do ar pode ser expressa em humidade relativa (HR) como valor percentual (%) ou humidade absoluta (HA), como valor absoluto (kg/kg). A humidade do ar

influencia a dissipação de calor por evaporação entre o corpo humano e o ambiente envolvente. Para temperaturas inferiores a 26°C, pessoas com atividade metabólica inferior a 2 met, um aumento de 10% de humidade relativa corresponde a um aumento de 0,3°C na temperatura operativa, conceito que será abordado posteriormente (ISO-7730 2005).

As trocas radiativas entre o corpo humano e o ambiente envolvente dependem da temperatura média das superfícies nas imediações ( $T_{rad}$ ). A medição da temperatura média radiante por cálculo matemático não é simples, sendo necessária a avaliação das temperaturas superficiais de todas as superfícies, as suas áreas e a sua emissividade. Para além destas características, é também necessário relacionar a distância e exposição entre o corpo humano e as superfícies, o fator de forma (Fanger 1970). Para além destes fatores, é também necessário ter em conta a radiação solar. Experimentalmente, a temperatura média radiante pode ser obtida por um termómetro de bolbo negro. Este tipo de termómetro tem a particularidade de ser envolvido por uma esfera, usualmente com 15 cm de diâmetro, de cor preta e não brilhante.

A velocidade do ar ( $V_{ar}$ ) é um parâmetro que influencia a dissipação de calor por convecção entre o corpo humano e o ambiente envolvente. Não existem valores mínimos de velocidade do ar para o conforto térmico, no entanto o aumento da velocidade do ar diminui a sensação de temperatura. No entanto, dependendo da temperatura do ar e da temperatura média radiante, a velocidade do ar pode ser responsável pela existência de desconforto localizado, conceito que será abordado posteriormente. De acordo com ISO-7730 (2005), quando a temperatura média radiante é reduzida e a temperatura do ar elevada, aumentar a velocidade do ar é menos eficiente no que toca ao aumento das perdas de calor por convecção do corpo humano. Em condições contrárias, o aumento das perdas de calor por convecção do corpo humano é mais eficiente.

A avaliação do conforto térmico em edifícios tem tido diversas evoluções podendo na atualidade dividir-se em três grandes grupos (Moret Rodrigues, Canha da Piedade, e Braga 2009; Matias 2010; Auliciems e Szokolay V. 1997): índices empíricos; índices analíticos e modelos adaptativos.

De acordo com Matias (2010), os modelos adaptativos assentam no princípio que o “conforto térmico resulta de um processo dinâmico, no qual o utilizador mantém uma interação física e psicológica com o ambiente”. No mesmo sentido, De Dear, Brager, e Cooper (1997), indicam que o conceito de adaptação térmica pressupõe mecanismos fisiológicos de aclimatização e ainda todos os processos comportamentais e psicológicos incorporados pelos ocupantes dos edifícios no sentido de melhorarem o seu enquadramento com o clima interior.

Ao contrário do que se verifica nos modelos analíticos, os modelos adaptativos são baseados em trabalhos *in situ* onde os indivíduos são estudados no seu ambiente de trabalho ou residencial em condições reais, climatizadas ou não.

A ligação da temperatura de neutralidade térmica com a temperatura exterior implica um grau de adaptação dos ocupantes ao ambiente circundante. De acordo com De Dear, Brager, e Cooper (1997) existem três categorias diferentes de adaptação térmica (Figura 11).

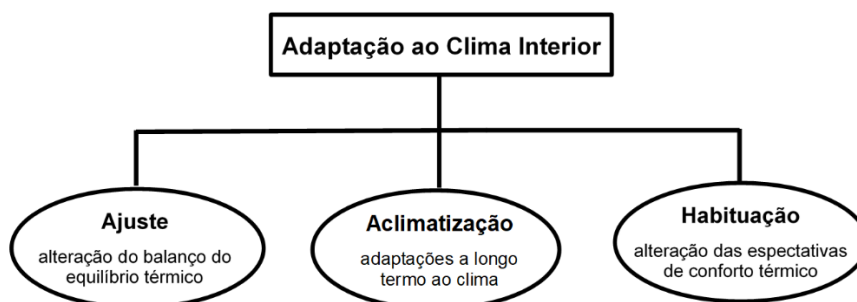


Figura 11 – Categorias de adaptação (De Dear, Brager, e Cooper 1997).

Desta forma, Baker e Standeven (1996) desenvolveram o conceito de “oportunidade adaptativa” que se apoia no facto do ocupante ter capacidades que lhe permitam manter a sensação de conforto térmico pela sua própria adaptação ao clima interior. Esta capacidade de adaptação está na base no conceito de “oportunidade adaptativa” permitindo que exista uma amplitude maior da temperatura de neutralidade térmica. Os autores defendem ainda que a nível de arquitetura os edifícios devem seguir três recomendações simples:

- Otimizar a escolha dos materiais e optar por soluções arquitetónicas solares passivas;
- Possibilidade de controlo das condições ambientais por parte dos ocupantes;
- Possibilitar o acesso visual do exterior para que exista a perceção do clima.
- Como se vai indicar posteriormente neste texto, as normas de conforto adaptativo possuem uma amplitude de valores elevada entre os quais se considera que o conforto térmico é atingido. Este facto é explicado pelo conceito de oportunidade adaptativa (Olesen 2004).

A norma EN-15251 (2007) apresenta duas metodologias distintas para se aferir o conforto no interior dos edifícios consoantes a existência ou não de sistemas mecânicos de arrefecimento: modelo analítico; modelo adaptativo. O modelo adaptativo da norma, refere-se a edifícios sem sistemas de arrefecimento mecânico. De acordo com a norma, os estudos que suportaram esta metodologia foram essencialmente os edifícios de escritórios. No entanto, de acordo com a norma a utilização desta metodologia em edifícios residenciais é possível. Para ser válido o uso do método adaptativo é preciso verificarem-se as seguintes condições:

- Os ocupantes têm parte ativa no condicionamento dos espaços interiores através da abertura das janelas da envolvente exterior;
- Não podem existir equipamentos mecânicos de arrefecimento do espaço;
- Pode existir um sistema de ventilação mecânica sem condicionamento do ar, desde que o principal sistema de condicionamento da temperatura interior seja a ação do utilizador através do fecho e da abertura das janelas;
- Os espaços podem ter um sistema de aquecimento, embora este método não se aplique enquanto este está em funcionamento, aplicando-se o método analítico;
- Os ocupantes devem ter atividades físicas sedentárias com taxa de metabolismo entre 1,0 e 1,3 met;
- Os ocupantes podem adaptar-se às temperaturas interiores/exteriores através da adaptação do seu vestuário.

De acordo com a norma, a aceitabilidade do conforto é avaliada de acordo com o gráfico apresentado na Figura 12. Neste gráfico, a temperatura operativa é obtida pela equação (4) que teve por base o trabalho de De Dear, Brager, e Cooper (1997) e a média da temperatura exterior ponderada pela equação

(5). De acordo com a norma, acima de uma temperatura exterior média ponderada de 25°C a base de dados que apoiou a construção do gráfico é limitada. A norma, refere ainda que para temperaturas operativas superiores a 25°C, podem ser usados sistemas que aumentem a velocidade do ar no interior (ventoinhas) de modo a que se compense o aumento da temperatura do ar interior sem afetar a sensação de conforto dos ocupantes. Este princípio baseou-se na norma ISO-7730 (2005). No caso de temperatura exterior média ponderada inferior a 10°C (limite superior) e 15°C (limite inferior), o gráfico da Figura 12 não apresenta valores. Esta situação deve-se ao facto destas temperaturas representarem a estação de aquecimento para a qual o modelo adaptativo não foi pensado uma vez que se considera a existência de um sistema de aquecimento ligado para temperaturas inferiores às indicadas. Nesta situação, a norma indica que devem ser considerados os limites definidos pelo método analítico. Conjugando os dois métodos da norma EN-15251 (2007) (adaptativo para a estação de aquecimento e o analítico para a estação de arrefecimento), obtém-se o gráfico apresentado na Figura 13. Para a avaliação do conforto térmico, de acordo com a norma ASHRAE-55 (2010) existe a necessidade de se calcular a temperatura operativa. Esta temperatura em é dada pela equação (6). Na maioria dos casos, a velocidade do ar interior é inferior a 0,2 m/s e por isso a temperatura operativa pode ser calculada pela média da temperatura do ar e da temperatura radiante. De acordo com a mesma norma (ASHRAE-55 2010), a temperatura do ar interior pode ser considerada a temperatura operativa se não existirem painéis radiantes e se o coeficiente de transmissão térmica (U) das janelas não exceder o limite indicado na equação (7).

$$T_o = 0,33 \times T_{mp} + 18,8 \pm X \quad (4)$$

Onde:

$T_o$  = Temperatura operativa;

$T_{mp}$  = Temperatura exterior média ponderada;

X = coeficiente em função da categoria de conforto (2 para Categoria I; 3 para categoria II; e 4 para categoria III).

$$T_{mp} = \frac{T_{n-1} + 0,8 \times T_{n-2} + 0,6 \times T_{n-3} + 0,5 \times T_{n-4} + 0,4 \times T_{n-5} + 0,3 \times T_{n-6} + 0,2 \times T_{n-7}}{3,8} \quad (5)$$

Onde:

$T_{n-i}$  = Temperatura média exterior do dia “i” anterior ao de cálculo.

$$T_o = A \times T + (1 - A) \times T_r \quad (6)$$

Onde:

A – coeficiente em função da velocidade do ar ( $V_{ar}$ ) – se  $V_{ar} < 0,2$  m/s,  $A = 0,5$ ; se  $0,2$  m/s  $< V_{ar} < 0,6$  m/s,  $A = 0,6$ ; se  $0,6$  m/s  $< V_{ar} < 1$  m/s,  $A = 0,7$ ;

T – temperatura do ar interior;

Trad – temperatura média radiante.

$$U_w = \frac{50}{t_{d,t} - t_{d,e}} \quad (7)$$

Onde:

$U_w$  – U médio das janelas ( $W/m^2.K$ );

$t_{d,t}$  – temperatura interior de projeto (°F);

$t_{d,e}$  – temperatura exterior de projeto (°F).

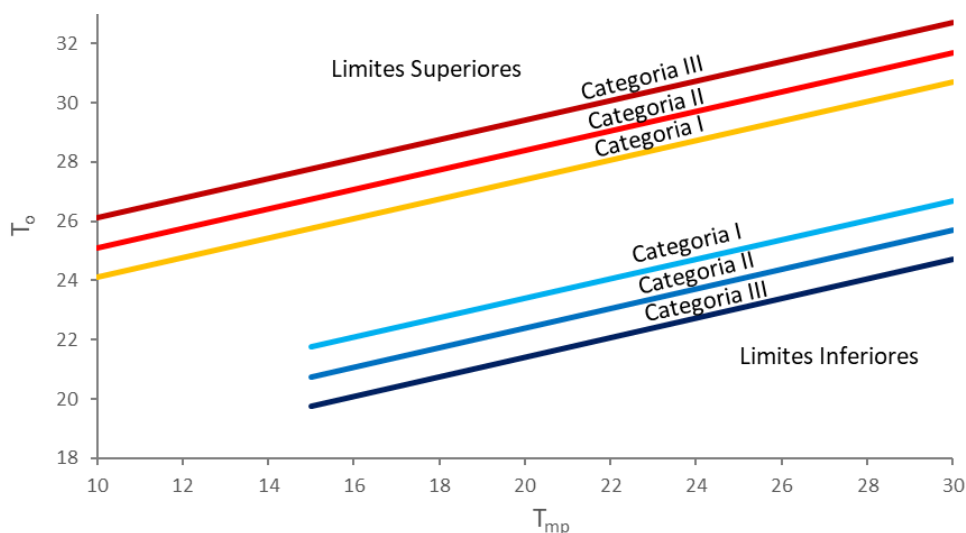


Figura 12 – Critérios de conforto para a estação de aquecimento de acordo com o modelo adaptativo a EN-15251 (2007).

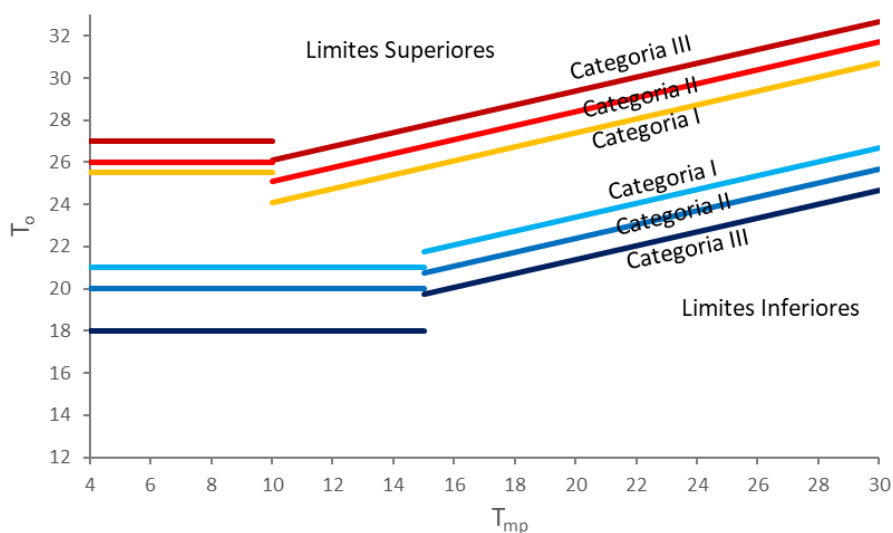


Figura 13 – Critérios de conforto para a estação de aquecimento e arrefecimento de acordo com a EN-15251 (2007).

Relativamente à monitorização das características físicas essenciais para o estudo dos modelos adaptativos, de acordo com os autores Brager e De Dear (1998), existem diferentes níveis de precisão que se pode alcançar nos questionários e principalmente nas medições físicas ligadas aos parâmetros do conforto. Os autores dividiram os níveis de precisão em três classes:

- Classe I – as medições experimentais são 100% de acordo com as especificações da ASHRAE-55 (2010) e ISO-7730 (2005). Deste modo devem ser obtidas medições a três alturas correspondentes à altura dos tornozelos, cintura e pescoço dos ocupantes. A ASHRAE-55 (2010) possui os valores de referência para os ocupantes em posição sentada (0,1m; 0,6m e 1,1m) e de pé (0,1m; 1,1m e 1,7m);

- Classe II – terão que ser registados todos os parâmetros de conforto térmico necessários para o cálculo do balanço térmico e PMV/PPD (temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar, humidade relativa, taxa de metabolismo e resistência térmica do vestuário);
- Classe III – Os estudos *in situ* baseiam-se apenas em medições de temperatura do ar interior e possivelmente humidade a uma altura acima do solo. Este tipo de abordagem não permite análises muito elaboradas embora, se admita esta abordagem caso o estudo não exija tratamentos estatísticos elaborados.

#### 2.4.2. QUALIDADE DO AR INTERIOR

A avaliação da QAI não é possível sem a referência ao ar exterior (Schneider, Koning, e Brasser 1978). Considera-se que a poluição do ar exterior resulta, maioritariamente, das necessidades de energia dos transportes, indústria e dos edifícios. Tendo por base a qualidade do ar exterior, devido às constantes trocas entre os dois meios, o ar interior é mais ou menos poluído em função da:

- Poluição provocada pelas atividades dos ocupantes;
- Poluição provocada pelos materiais que constituem os edifícios;
- Limpeza do ar proporcionada pelas unidades de tratamento de ar;
- Taxa de renovação do ar interior.

A principal motivação para a génese desta área de estudo são os efeitos prejudiciais que a qualidade do ar interior inflige na saúde dos seus ocupantes. Uma vez que cerca de 90% do tempo dos seres humanos é passado dentro de edifícios, esta área de estudo ganhou grande notoriedade. A maioria das doenças provocadas pela fraca qualidade do ar interior são as seguintes (Seppanen; Cor J M Van Den Bogaard; Michael Wilson; Peter Wouters 2003):

- Dispersão pelo ar interior de doenças infectocontagiosas;
- Crescimento de micro-organismos promotores de doenças pneumológicas graves;
- Presença de micro-organismos responsáveis por problemas alérgicos e asmáticos;
- Cancro do pulmão por exposição a fumos ou a concentrações elevadas de poluentes.

Devido aos efeitos prejudiciais que a QAI dos edifícios pode ter nos seus ocupantes, surgiram os termos Síndrome de Edifício Doente - "sick building syndrome" (SBS) e Doenças Relacionadas com os Edifícios "building related illness" (BRI). Enquanto o primeiro termo diz respeito ao desconforto que aparentemente está relacionado com o tempo despendido pelo ser humano no interior dos edifícios, mas sem que se consiga definir uma causa ou uma doença específica, o segundo termo é usado quando os sintomas são associados a uma doença e a causa diretamente ligada aos poluentes presentes nos edifícios. Tipicamente o SBS é caracterizado por:

- Ocupantes com dores de cabeça, irritações nos olhos, garganta e nariz, torturas e náuseas, dificuldade de concentração, fadiga e sensibilidade a odores;
- Não é encontrada uma causa evidente para os sintomas apresentados;
- A maioria dos queixosos ficam sem sintomas ou sentem-se aliviados assim que abandonam o edifício.

Por outro lado, as BRI têm como indicador o seguinte:

- Ocupantes com arrepios, pressão no peito, febres, tosse e dores musculares;
- Os sintomas são clinicamente definidos e as causas apuradas;
- Os queixosos necessitam de tempo de recuperação prolongado, não aliviando os sintomas por abandonarem o edifício.

A qualidade do ar dos edifícios pode ser quantificada pela medição de diferentes parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Dentro de um grupo de parâmetros existem contaminantes cuja medição é comum ser efetuada para aferir a qualidade do ar interior. Cada um dos contaminantes possui um valor máximo admissível para que não haja consequências para a saúde dos ocupantes. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), a qualidade do ar do interior dos edifícios tem consequências graves para a saúde dos seus ocupantes devido à (Ambiente 2009):

- Existência de várias fontes causadoras de contaminantes no interior dos edifícios;
- Elevado tempo que os seres humanos passam dentro dos edifícios;
- Existência de fachadas estanques nos edifícios que potenciam a acumulação de poluentes e a criação de um ar interior mais poluído que o exterior.

Os parâmetros físicos como temperatura do ar, humidade relativa, temperatura média radiante e velocidade do ar, são mais utilizados para avaliar o conforto como já foi referido em capítulo anterior. Contudo, estes parâmetros são de extrema importância para o desenvolvimento de micro-organismos. Assim, a avaliação da qualidade do ar interior utiliza os parâmetros físicos de modo a controlar-se os parâmetros microbiológicos.

A humidade relativa existente no interior dos edifícios depende da temperatura interior, da temperatura e humidade relativa exteriores e da produção de vapor no interior dos edifícios. Em edifícios não sujeitos a humidificação por meios patológicos como infiltrações, humidade ascensional e roturas das canalizações internas, a principal fonte de produção de vapor de água interno é a atividade humana metabólica ou comportamental. Em edifícios habitacionais, estima-se que a produção de vapor de água média diária, pode estar compreendida entre 12 a 14 kg (Freitas 2010). Os valores de produção de vapor de água, de várias fontes típicas em edifícios residenciais, estão indicados na Tabela 4, de acordo com a norma BS-5925 (1991).

De acordo com World Health Organization (2009), a humidade afeta entre 10 a 50% dos ambientes interiores na Europa, podendo estes valores ser ainda superiores para os casos de edifícios de ocupantes com baixos rendimentos. O mesmo documento aponta que a quantidade de água existente nos materiais de construção é a principal causa para a proliferação de fungos e bactérias. Em geral, o pó e a sujidade presente do interior das habitações, são suficientes para alimentar os micro-organismos com os nutrientes que precisam para o seu desenvolvimento.

De acordo com Sedlbauer (2001), os fungos desenvolvem-se preferencialmente com temperaturas entre 22°C e 35°C no entanto, estes limites podem ir de -8°C a 60°C dependendo da espécie e da fase de desenvolvimento. O documento World Health Organization (2009) indica que o seu desenvolvimento acontece preferencialmente entre 10°C e 35°C. Relativamente à humidade relativa, de acordo com Simonson, Salonvaara, e Ojanen (2001), a concentração dos parâmetros microbiológicos, varia em função da humidade relativa apresentada na Figura 14.

Os ácaros, de acordo com World Health Organization (2009) desenvolvem-se com humidade relativa superior a 45% - 50%, desenvolvendo-se e crescendo muito mais rapidamente em ambientes mais húmidos. Considera-se que os ácaros têm nos espaços interiores o seu habitat predileto sendo que a sua presença é muito mais acentuada em ambientes húmidos e em edifícios localizados em climas temperados.

As bactérias são omnipresentes, podendo ser encontradas em quase todas as superfícies do interior dos edifícios. O documento World Health Organization (2009) indica que poucos estudos foram efetuados no sentido de correlacionar a existência de bactérias em função da humidade dos locais. Pode-se no entanto, encontrar na Figura 14 uma relação entre a produção de bactérias e a humidade relativa.



De acordo com o estudo de Simonson, Salonvaara, e Ojanen (2001), a gama de valores para a humidade relativa ótima para o interior dos edifícios, de modo a que não se potenciem problemas de saúde e a proliferação de micro-organismos, é entre 30% e 55%.

A regulamentação portuguesa indica valores de referência para as concentrações de bactérias e fungos (Tabela 5).

Tabela 4 – Produção de vapor de água em fontes típicas em edifícios residenciais (BS-5925 1991).

Fonte de vapor de água	Produção vapor de água [g/h]
Metabolismo humano em atividade reduzida	30 - 60
Metabolismo humano em atividade intermédia	120 - 200
Metabolismo humano em atividade elevada	200 - 300
Banho	700
Duche	2600
Preparação de alimentos	600 - 1500
Plantas em vasos	5 - 20
Secagem de roupa (4,5 kg) com centrifugação	50 - 200
Secagem de roupa (4,5 kg) sem centrifugação	100 - 500

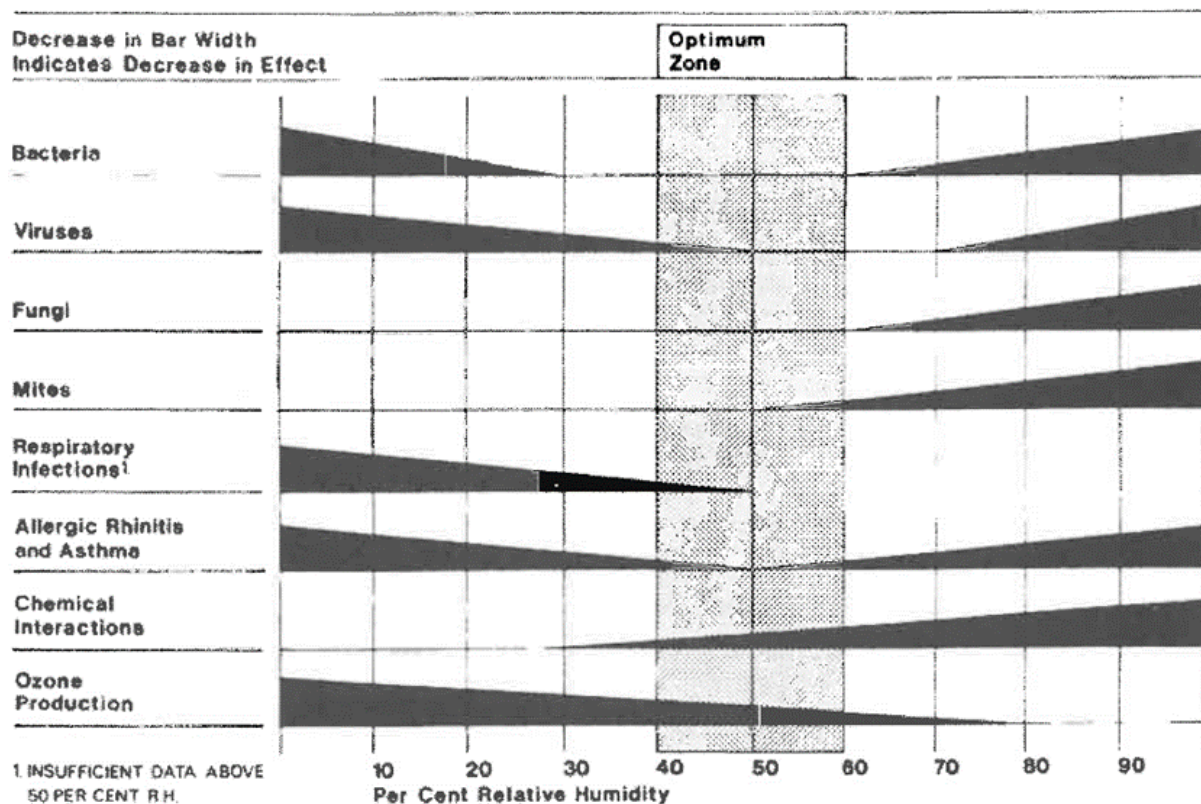


Figura 14 – Influência da HR na saúde dos seres humanos (Arundel et al. 1986).

Tabela 5 – Condições de referência para os poluentes microbiológicos (Portaria\_n.º353-A/2013 2013).

Poluente	Limites regulamentares	Bibliografia
Bactérias	Concentração de bactérias totais no interior inferior à concentração no exterior, acrescida de 350 UFC/m <sup>3</sup>	Portaria_n.º353-A/2013 (2013)
Fungos	Concentração de fungos no interior inferior à detetada no exterior	Portaria_n.º353-A/2013 (2013)

Apesar de existirem diversos parâmetros químicos cuja concentração pode ser avaliada, o controlo do CO<sub>2</sub>, dá boas indicações sobre todos os outros poluentes, relacionados com bioefluentes humanos (Bienfait et al. 1992; Persily 1996; Schell e Int-Hout 2001; Sundell et al. 2011), e consequentemente pode ser usado para tirar conclusões sobre a QAI (Persily 1996), por poder ser correlacionado com a ventilação (Proença e Cano 2010).

De acordo com o organismo Occupational Safety and Health Standards (OSHA) e a General Industry Air Contaminants standard (29 CFR 1910.1000) definiu-se um PEL (permissible exposure limits) para um TWA (time-weighted average em 8 horas de trabalho) de 5000 ppm e, no mesmo sentido, NIOSH (2007) indica um REL (recommended exposure limits) de 5000 ppm para um TWA de 10 horas. Esse valor não deve ser excedido nos turnos das horas indicadas para semanas de trabalho de 40 horas. Os organismos OSHA e NIOSH indicam ainda um STEL (limite de concentração para uma exposição máxima de 15 min) de 30000 ppm. O valor de 5000 ppm é ainda referido na ASTM-E741 (2011) como limite máximo de admissibilidade. Contudo, uma vez que o CO<sub>2</sub> é um indicador da qualidade do ar interior, existem outros requisitos que são detetados pela concentração de CO<sub>2</sub> num espaço, mas não diretamente influenciados por este gás. Na versão de 1989, a norma ANSI/ASHRAE Standard 62 referia que os critérios de conforto, sob o ponto de vista dos bioefluentes humanos (odor) eram provavelmente satisfeitos quando os valores de RPH conduziam a concentrações de CO<sub>2</sub> que não excediam os 1000 ppm. Na versão de 1999, o valor de 1000 ppm como valor máximo de CO<sub>2</sub> aconselhável deixou de estar presente. Em vez disso, a norma estabeleceu uma taxa de ventilação mínima de 7 l/s por pessoa de modo a manter-se um diferencial de CO<sub>2</sub> entre o interior e o exterior de 700 ppm em vez do valor absoluto de 1000 ppm (Schell, Turner, e Shim 1998). Na versão atual do documento, existe uma parte específica para edifícios residenciais (ASHRAE-62.2 2016), mas os limites apresentados como máximos estão apenas relacionados com a taxa de ventilação mínima (Lin e Lau 2014) embora exista ainda uma alusão ao limite máximo aconselhável de CO<sub>2</sub> nos 1000 ppm de acordo com as ASHRAE-62.2-FAQs. Para além desta referência, existem na atualidade outras referências não regulamentares ao limite aconselhável para a concentração máxima de 1000 ppm de CO<sub>2</sub> nas habitações (Laverge et al. 2011; Sharpe et al. 2015; Ye et al. 2017; Nielsen e Drivsholm 2010) mas também em regulamentações nacionais (Cho et al. 2015), a norma suíça SIA 382 e a norma ASTM-D6245 (2012) indicam um diferencial mínimo de 650 ppm entre o CO<sub>2</sub> interior e exterior e uma concentração no exterior de 350 ppm, o que coincide com o limite máximo de admissibilidade de 1000 ppm para o CO<sub>2</sub> interior. Existem também referências a valores de 1500 ppm como valores máximos aconselháveis para a concentração de CO<sub>2</sub> em quartos na regulamentação DIN-1946-6 (2013) e SIA 180. Existem ainda referências de valores inferiores de CO<sub>2</sub> como a Active House que admite valores interiores máximos de 850 ppm (Foldbjerg, Rasmussen, e Asmussen 2011).

De acordo com a regulamentação em Portugal e a regulamentação anterior, os valores de referência para os parâmetros químicos são os apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores máximos de referência para alguns parâmetros químicos.

Parâmetro	Limiar de proteção	Bibliografia
Partículas em suspensão (PM <sub>10</sub> )	50 µg/m <sup>3</sup> (valor médio para 24 h)	Portaria_n.º353-A/2013 (2013)
Partículas em suspensão (PM <sub>2,5</sub> )	25 µg/m <sup>3</sup> (valor médio para 24 h)	Portaria_n.º353-A/2013 (2013)
Compostos orgânicos voláteis totais	600 µg/m <sup>3</sup>	Portaria_n.º353-A/2013 (2013)
Monóxido de carbono	10 mg/m <sup>3</sup> 9 ppm	Portaria_n.º353-A/2013 (2013)
Formaldeído	100 µg/m <sup>3</sup> 0,08 ppm	Portaria_n.º353-A/2013 (2013)
Dióxido de Carbono	2250 µg/m <sup>3</sup> 1250 ppm	Portaria_n.º353-A/2013 (2013)
Radão	400 Bq/m <sup>3</sup>	Portaria_n.º353-A/2013 (2013)

#### 2.4.3. ILUMINAÇÃO

A iluminação dos espaços interiores é uma necessidade que os seres humanos adquirem artificialmente ou naturalmente desde há muitos anos. Ao nível da iluminação artificial, muitos foram os meios que o homem utilizou para a produzir. A evolução da iluminação artificial passou pelo uso de lamparinas com pavio embebido num material como a gordura dos animais, ou óleos vegetais, o petróleo não tratado, a parafina/ querosene e finalmente a lâmpada elétrica, inicialmente incandescente desenvolvida por Thomas Edison em 1879. Desde então tem-se mantido o princípio da iluminação por fonte elétrica embora com bastantes melhorias tanto ao nível da intensidade luminosa como de gastos de energia. As lâmpadas incandescentes continuam a ser as mais usadas em todo o mundo apesar do grande desperdício de energia que promovem. Em geral, estas lâmpadas apenas convertem em luz 5% da energia que consomem. A restante percentagem é desperdiçada. Estes desperdícios contribuem para que a iluminação tenha um grande peso na energia elétrica consumida a nível mundial. De acordo com o DGEG, na União Europeia a 27, o consumo de energia elétrica em iluminação no Sector Residencial representa mais de 12% do consumo total deste sector. Cerca de 20% da fatura de eletricidade de uma habitação é devida à iluminação e no sector dos serviços, essa percentagem, pode chegar até 60%. No nosso país, a situação é análoga.

Considera-se que a iluminação natural do interior dos edifícios traz grandes vantagens no campo energético por substituir ou minorar os gastos em iluminação artificial e no campo psicológico por influenciarem positivamente o humor e o bem estar dos ocupantes (Eriksen et al. 2013). Contudo, de acordo com Lamberts, Dutra, e Pereira (1997), devido ao facto da iluminância da luz do sol numa superfície ser muito elevada, entre 6 000 lux e 100 000 lux, não pode ser utilizado diretamente sobre os locais a iluminar.

De acordo com BS-8206-2 (2008), existe uma relação entre a luz natural e a saúde dos ocupantes que se traduz em quatro vertentes:

- Regulação do sistema circadiano – O sistema circadiano do ser humano, que controla o ritmo do corpo quer diariamente quer ao longo do ano, é influenciado pela luz do dia. A alteração do funcionamento deste sistema por alteração da exposição à luz natural pode levar a problemas de saúde como depressões, distúrbios no sono, etc... Neste sentido, considera-se importante que os edifícios tenham aberturas que permitam o contacto visual entre o interior e exterior de modo a que o sistema circadiano não seja afetado;
- Humor – a luz natural pode influenciar o humor dos seres humanos. Pelo seu cariz dinâmico, é preferido pela maioria dos ocupantes em detrimento da luz artificial;
- Desordem afetiva sazonal – uma pequena percentagem da população sofre de uma desordem comportamental em consequência da diminuição da luz do dia que, em muitos países localizados mais perto dos polos, é inevitável no inverno. Como sintomas desta desordem está a depressão, perda de energia, aumento da necessidade de dormir, aumento do apetite e ganho de peso. Estes sintomas são reduzidos face ao aumento da exposição à luz natural;
- Vírus e bactérias – a exposição solar mesmo por intermédio de envidraçados, é eficaz na eliminação de diversos tipos de vírus e bactérias.

Apesar das vantagens apresentadas ao nível da poupança energética e do aumento da saúde dos ocupantes, mesmo que se consiga um projeto de iluminação natural muito abrangente, existe sempre a necessidade de se utilizar luz artificial. Esta necessidade é óbvia nos períodos noturnos como também é do senso comum o seu recurso, durante o dia, em situações de períodos com nuvens, nevoeiro ou em compartimentos interiores dos edifícios.

O desenvolvimento de lâmpadas mais eficientes (de baixo consumo energético) a par de uma ampla variedade de luminárias tornaram possível atingir significativas poupanças de energia na iluminação.

De modo a avaliar-se e a quantificar-se os sistemas de iluminação artificial e natural dos edifícios, é necessário conhecer os conceitos fundamentais de fotometria, indicando-se de seguida os seus conceitos resumidos:

- Fluxo luminoso – é a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa em todas as direções. Expressa-se em lúmen (lm);
- Eficiência luminosa – é obtido pela divisão entre o fluxo luminoso e a potência consumida pela lâmpada. Expressa-se em lúmen por Watt (lm/W);
- Intensidade luminosa – é a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa numa determinada direção, visto que uma fonte não emite homogeneamente em todas as direções. Expressa-se em candela (cd);
- Iluminância – é a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa que incide numa determinada área. É obtida pela divisão do fluxo luminoso pela área. Expressa-se em lúmen por m<sup>2</sup>, ou seja, lux (lx);
- Luminância – corresponde à quantidade de luz refletida por uma determinada superfície. Expressa-se em (cd/m<sup>2</sup>);
- Fator luz do dia (DF – daylight factor) – é utilizado para determinar a iluminância de um espaço interior face à iluminância que ocorre, simultaneamente, no exterior num dia com céu encoberto. Por esta razão é um fator importante a usar pelos projetistas para quantificarem a iluminação interior. Determina-se pelo quociente entre a iluminância, num ponto no interior de um compartimento e a iluminância exterior simultânea. A Commission internationale de l'éclairage (CIE) define valores recomendados para os fatores luz do dia para diversos espaços consoante os seus usos.

De acordo com a DGEG, apresenta-se na Tabela 7 a eficiência luminosa de algumas das lâmpadas mais frequentes na atualidade.

Tabela 7 – Valores de eficiência Luminosa de lâmpadas comuns.

Fonte de Luz	Eficiência Luminosa (lm/W)
Lâmpada com filamento de tungsténio de Edison	1,4
Lâmpada com filamento de tungsténio	15 - 20
Lâmpada de quartzo e halogéneo	20 - 25
LEDs de luz branca de alto brilho	40 - 85
Tubos fluorescentes e lâmpadas fluorescentes compactas	50 - 80
Lâmpada de vapor de mercúrio	50 - 60
Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão	100 - 140

Uma correta iluminação implica ainda que seja dada atenção à temperatura da cor da luz emitida e o Índice de reprodução da cor.

Apesar de existirem normas e recomendações internacionais para edifícios de serviços no que toca à iluminação EN 12464-1 e EN 12464-2, EN 15251, ISO 8995-1:2002(E)/CIE S 008/E:2001 e ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010, para os edifícios habitacionais estas são menos comuns. Foram no entanto encontradas especificações da Active House que categoriza os edifícios de acordo com o DF, classificando os edifícios de 1 a 5 consoante o valor médio de DF (Tabela 8). O CIBSE, num dos guias sobre iluminação, Lighting Guide 09: Lighting for Communal Residential Buildings (CIBSE 2013), indica algumas recomendações sobre a iluminação como por exemplo ao nível dos quartos de banho (de 100 a 150 lux) e em cozinhas (cerca de 200 lux com luz de cor quente entre 3000 – 4000 K). Existe ainda uma norma genérica para edifícios que especifica alguns elementos:

- Percentagem de área das janelas em função da profundidade do quarto medida desde a parede exterior;
- Receção de radiação solar direta durante determinada percentagem de horas;
- Recomendação de um mínimo de DF de 2% para que haja influências da luz do dia. Indicam que caso o DF médio for superior a 5% indicam que quase não será preciso iluminação artificial durante o dia;
- Recomendação de DF mínimo de 1% para os quartos, 1,5% para as salas e 2% para cozinhas;
- Uniformização da luz do dia no interior dos compartimentos
- Sombreamento para evitar excesso de radiação solar direta.

Tabela 8 – Classificação das habitações em função do valor de  $DF_{\text{médio}}$ .

$DF_{\text{médio}}$ medido num plano horizontal	Classificação
$DF_{\text{médio}} > 5\%$	1
$DF_{\text{médio}} > 3\%$	2
$DF_{\text{médio}} > 2\%$	3
$DF_{\text{médio}} > 1\%$	4

## 2.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO

### Edifícios inteligentes

A aplicação do conceito de EI ao nível dos edifícios de comércio e serviços já está numa fase intermédia de implementação. A principal razão para a sua aceitação e abrangência está relacionada com o tipo de utilização destes edifícios. Estes edifícios têm uma ocupação num período de tempo bem definido à priori, não existindo em geral alterações significativas do perfil de ocupação. Complementarmente, a ocupação é muito heterogénea pelo que a estratégia de centralização da gestão dos sistemas (BAS|EMS|BMS) acaba por ser o mais óbvio.

Nos edifícios habitacionais a sua implementação ainda não é frequente, muito devido à dificuldade em responder às exigências específicas dos ocupantes de cada habitação. O conceito de EI está sempre relacionado com a implementação de tecnologia e de automação nos edifícios que por vezes realizam ações não aceites pelos ocupantes. Contudo, a motivação para um EI está num edifício que responda às necessidades e exigências dos ocupantes da forma mais eficiente. Há também acordo na bibliografia quanto às necessidades de adoção de uma arquitetura “inteligente” que potencie a utilização de sistemas passivos como procedimento base para se alcançar um EI.

Realça-se como um dos conceitos mais importantes para a implementação de um EI a necessidade de se cumprir a vontade dos ocupantes de uma forma mais eficiente face a um edifício “não inteligente”. Surge assim o conceito de inteligência associado à poupança de recursos sem se negligenciar o conforto, a qualidade do ar e outras exigências dos ocupantes.

Como foi referido, um EI pressupõe algum controlo da habitação através da sua automação. Considera-se que não existem neste momento trabalhos de investigação suficientes para a implementação de EI nos edifícios habitacionais em Portugal, principalmente devido à ausência de metodologias para se aplicarem nas habitações de modo a que os BAS|EMS|BMS aprendam a reconhecer as ações dos ocupantes e a interpretá-las. Apesar de existir já um número de empresas razoáveis a instalar sistemas de domótica, considera-se que estes sistemas estão ainda distantes dos objetivos dos EI. Os sistemas em comercialização preocupam-se sobretudo ao nível do controlo remoto dos equipamentos e da obtenção dos consumos, essencialmente energéticos e de água da habitação. Alguns desses sistemas começam a introduzir os BAS|EMS|BMS nos estores exteriores relacionados com a radiação solar e a iluminação artificial. Foi apenas encontrado um sistema que implementasse um controlo da ventilação, embora de forma muito simplificada. Considera-se, pelo apresentado, que existe mercado para se explorar diversas vertentes de um sistema vocacionado para o setor habitacional que integre o comportamento dos ocupantes num sistema que confira automação e inteligência ao edifício.

### **Comportamento dos ocupantes**

Existem diversos estudos sobre o comportamento dos ocupantes em edifícios de serviços e edifícios residenciais. Os estudos encontrados sobre os edifícios residenciais relatam algumas dificuldades que começavam pela monitorização e pelo sistema mais correto a adotar. Apesar de existirem no mercado algumas soluções acessíveis para se instalar nas habitações, nota-se que a sua introdução no mercado é muito recente, não existindo ainda um sistema suficiente abrangente que permita colecionar dados sobre a presença dos ocupantes, as ações dos ocupantes, as motivações dos ocupantes para efetuarem essas ações e os seus impactos. Para tal existe ainda a necessidade de se recorrer a um número de sistemas não integrados que torna o processo de monitorização complicado e suscetível a erros. A Tabela 9 sintetiza o tipo de estratégia utilizada por cada um dos estudos analisados para medir o comportamento dos ocupantes de edifícios residenciais. Como se pode observar na Tabela 9, existem trabalhos a utilizar diversos tipos de sensores para estudar o comportamento dos ocupantes. O uso de inquéritos continua a existir contudo, para ser preciso, estes devem ser utilizados em períodos curtos e como complemento de um sistema de monitorização cuja duração deverá ser no mínimo de 1 ano. Face ao apresentado, considera-se que coexistem na comunidade científica diferentes estratégias para se estudar o comportamento dos ocupantes:

- Utilização de sensores que permitem a deteção direta das ações dos ocupantes (Bao, Allering, e Schmeck 2011; Calì, Andersen, et al. 2016; Jia, Srinivasan, e Raheem 2017; Yao e Zhao 2017);
- Utilização de sensores que permitem a deteção indireta das ações dos ocupantes através de modelos matemáticos e estatísticos (Zouba, Bremond, e Thonnat 2009; Zhang, McClean, e Scotney 2012; Ahmed, Faouzi, e Caelen 2013; Candanedo, Feldheim, e Deramaix 2017);
- Utilização de sensores para medir os parâmetros ambientais interiores, usando inquéritos para a determinação das ações dos ocupantes (Bekö et al. 2010; Wilke et al. 2013; Ramos, Curado, e Almeida 2015; Guerra-Santin et al. 2016).

Foi observado que os sensores de temperatura, humidade relativa e de concentração de CO<sub>2</sub> para além de serem os utilizados nas estratégias complementadas por inquéritos para se conhecer as ações dos ocupantes, são também os sensores utilizados nos estudos mais simplificados relativos ao conforto térmico e qualidade do ar interior dos edifícios. Assim, considera-se haver potencial para a criação de metodologias que se baseiem nestes dados monitorizados para se conhecer o comportamento dos ocupantes.

Tendo em conta as ações dos ocupantes e as suas principais motivações, em edifícios residenciais, construiu-se o esquema da Figura 15, indicando-se de forma não exaustiva os parâmetros interiores e exteriores que funcionaram como motivações para a ocorrência das ações e a categorização das motivações em função da proposta de Peng et al. (2012).

As motivações apresentadas na Figura 15, encontradas na bibliografia, indicam que foram encontradas diferentes motivações para as mesmas ações em edifícios residenciais. Por exemplo, no estudo de Kvisgaard e Collet (1986) não foram encontradas correlações entre a temperatura interior, temperatura exterior ou o número de ocupantes com a abertura de janelas e no estudo de Bekö et al. (2010), nenhuma correlação foi encontrada entre a temperatura média exterior e a abertura de janelas/portas. A revisão do estado da arte de Wei, Jones, e Wilde (2014) e por Delzendeh et al. (2017) elencou várias motivações encontradas na bibliografia, evidenciando artigos onde as correlações entre a ação do regulamento do aquecimento e as suas motivações não foram encontradas embora a maioria dos artigos a tenha

evidenciado. Esta situação é explicada por D'Oca et al. (2017) que enfatiza a necessidade de se optar por abordagens multidisciplinares para se compreender verdadeiramente as especificidades do fator humano nos edifícios, retirando-se a influência dos fatores climáticos, culturais e socio demográficos característicos e válidos apenas para algumas regiões como propõe Mills e Schleich (2012).

Tendo em conta as ações dos ocupantes e os seus impactos, em edifícios residenciais, construiu-se o esquema apresentado na Figura 16, indicando-se de forma não exaustiva os parâmetros interiores que foram influenciados pela ocorrência de ações. Os principais impactos estudados pela bibliografia analisada foram os seguintes:

- Consumo de energia;
- Parâmetros ambientais interiores (Temperatura (T) e Humidade);
- Qualidade do ar interior (Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e Renovações de ar horárias (RPH));
- Consumo de água.

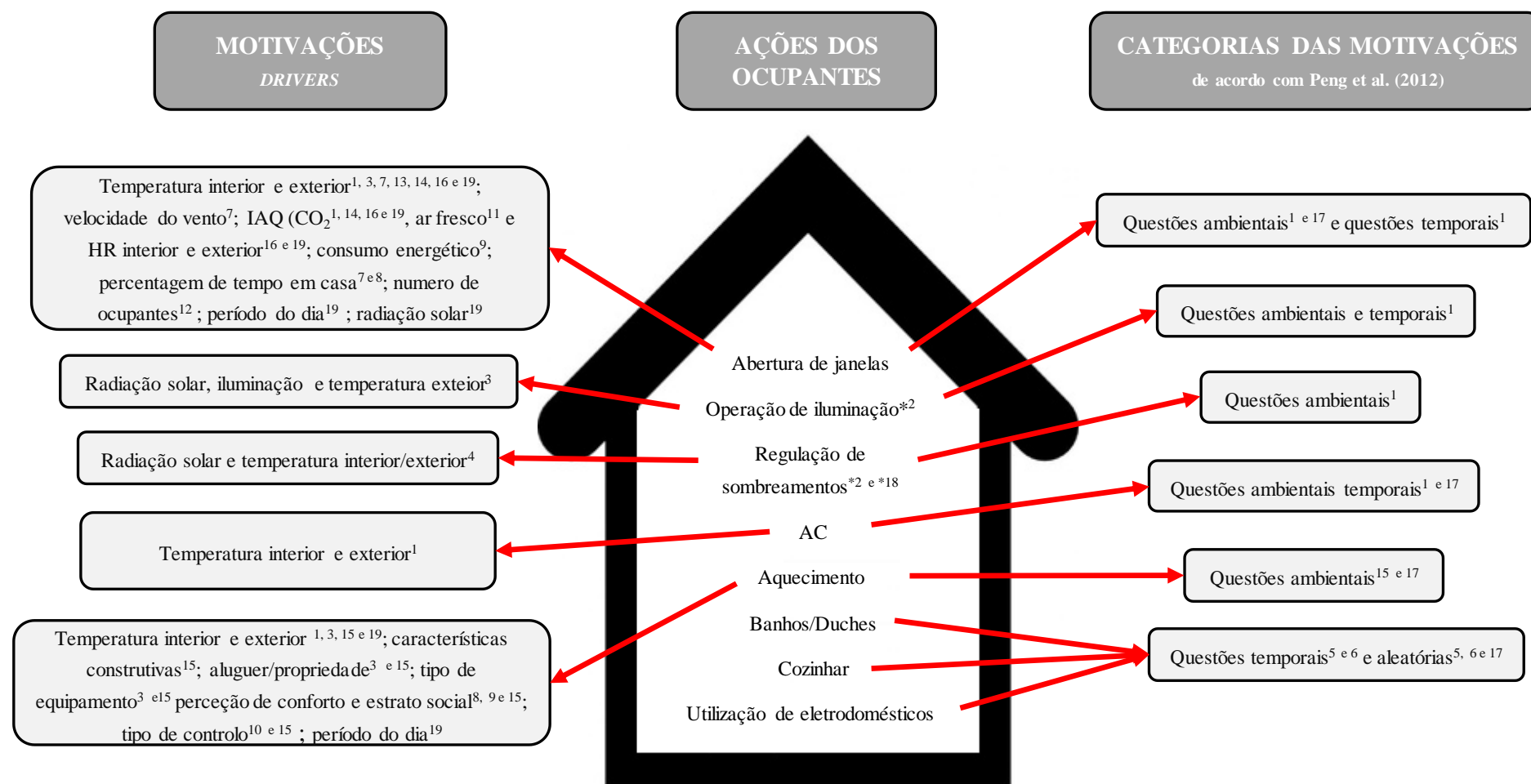
Relativamente à modelação do comportamento dos ocupantes, esta é em geral criada em função das motivações dos ocupantes. O esquema que se apresenta na Figura 17 indica o princípio partilhado pela generalidade dos estudos analisados sobre a metodologia utilizada para a modelação do comportamento dos ocupantes.

Apesar de serem bem conhecidos os hábitos energéticos dos portugueses para o setor habitacional (INE e DGEG 2011), as especificidades e heterogeneidades do comportamento dos ocupantes dos edifícios habitacionais (Wei, Jones, e Wilde 2014; Delzendeh et al. 2017) não permite que estes dados sejam considerados válidos para todas as habitações. Acresce ainda o facto de poderem existir heterogeneidades comportamentais na própria habitação em função de diferentes tipos de motivações que os utilizadores têm acerca do mesmo tipo de ação (Fabi et al. 2012; Stazi, Naspi, e D'Orazio 2017b). Deste modo considera-se adequada a existência de uma estratégia de monitorização alargada em toda a habitação de modo a poderem ser determinadas individualmente e por compartimentos, as ações dos ocupantes e suas motivações e impactos.



Tabela 9 – Estratégia de medição do comportamento dos ocupantes.

Autores	Sensores utilizados na monitorização												Inquéritos	
	T	HR	Clima exterior	CO <sub>2</sub>	Iluminância	Movimento (PIR)	Ocupação (câmara de vídeo)	Ocupação (medir alturas nas portas)	Presença (telemóvel)	Medição entrada caudal de ar	Abertura vãos (reed switch)	Consumos		Outros
Iwashita e Akasaka (1997)	X	X								X				X
Barbato et al. (2009)	X				X	X								
Lu, Sookoor, et al. (2010)	X	X				X					X			
Messerve et al. (2010)	X	X		X	X	X					X	X		
Bekô et al. (2010)	X	X	X	X										X
Hnat et al. (2011)	X	X				X		X		X		X		
Bao, Allerdin, e Schmeck (2011)												X		
Guerra Santin (2011)														X
Weng e Agarwal (2012)						X					X			
Wilke et al. (2013)	X	X												X
Ahmed, Faouzi, e Caelen (2013)							X							
Chen, Cook, e Crandall (2013)	X	X			X	X						X		
Bonte, Thellier, e Lartigue (2014)						X								
D'Oca et al. (2014)	X		X	X	X						X			
D'Oca, Corgnati, e Buso (2014)												X		
Kleiminger, Mattern, e Santini (2014)									X					
Yang et al. (2014)	X	X		X	X	X					X		Som	
Ramos, Curado, e Almeida (2015)	X	X		X										X
Cali, Andersen, et al. (2016)	X	X		X	X						X		VOC	
Guerra-Santin et al. (2016)	X	X		X										X
Szczurek et al. (2016)				X										
Yao e Zhao (2017)	X	X	X	X									PM <sub>2.5</sub>	
Candanedo, Feldheim, e Deramaix (2017)	X	X		X										



<sup>1</sup>Stazi, Naspi, e D'Orazio (2017b) <sup>2</sup>Hong et al. (2017) <sup>3</sup>Andersen et al. (2009) <sup>4</sup>Alders (2017) <sup>5</sup>Johansson, Pallin, e Shahriari (2010) <sup>6</sup>Hendron e Engebrecht (2010)

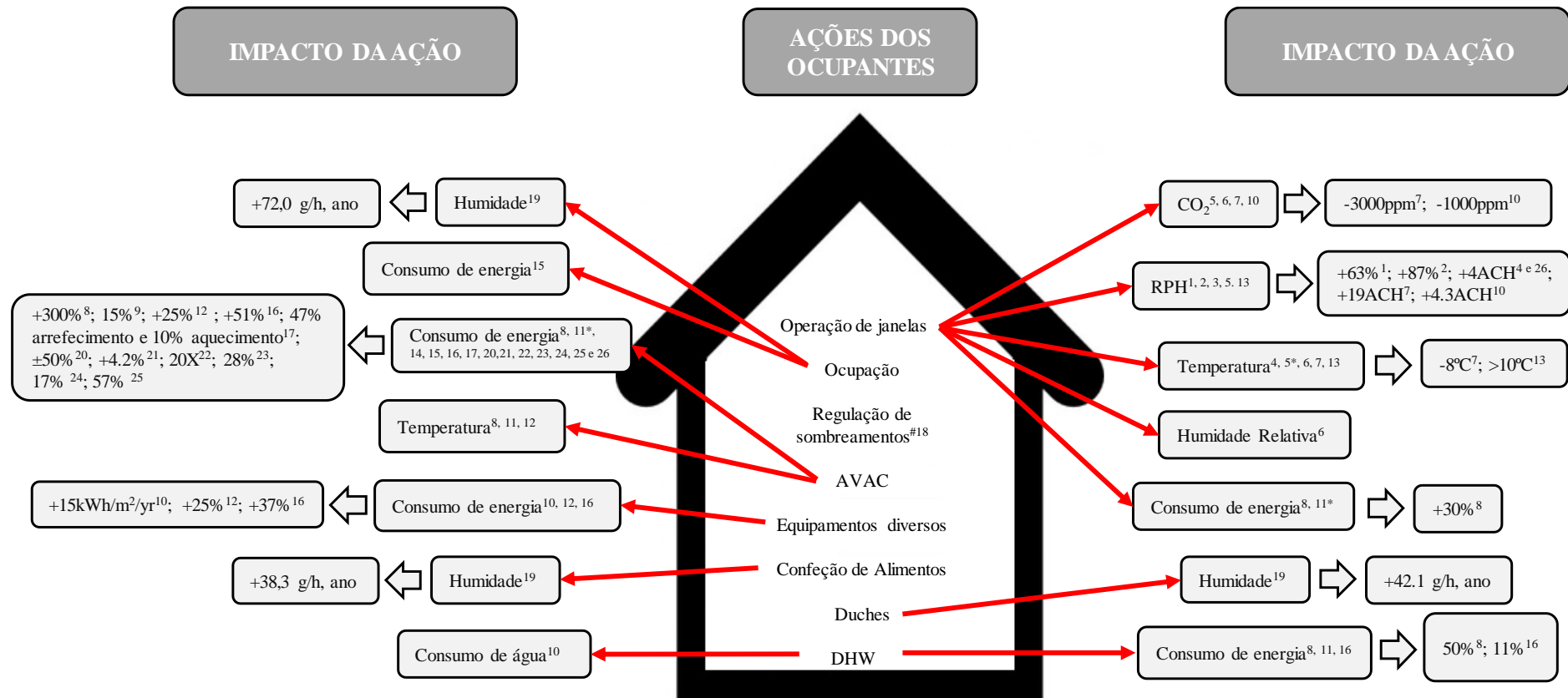
<sup>7</sup>Fabi et al. (2012) <sup>8</sup>Guerra-Santin et al. (2016) <sup>9</sup>Ramos, Curado, e Almeida (2015) <sup>10</sup>Luo et al. (2014) <sup>11</sup>Frontczak, Andersen, e Wargocki (2012)

<sup>12</sup>Bekö et al. (2010) <sup>13</sup>Howard-Reed, Wallace, e Ott (2002) <sup>14</sup>Calì, Andersen, et al. (2016) <sup>15</sup>Wei, Jones, e Wilde (2014) <sup>16</sup>Yao e Zhao (2017)

<sup>17</sup>Delzendeh et al. (2017) <sup>18</sup>Van Den Wymelenberg (2012) <sup>19</sup>D'Oca et al. (2014)

\* poucos estudos em edifícios residenciais

Figura 15 – Relação entre as ações dos ocupantes e as suas motivações em edifícios residenciais.



<sup>1</sup>Kvisgaard e Collet (1986) <sup>2</sup>Iwashita e Akasaka (1997) <sup>3</sup>Howard-Reed, Wallace, e Ott (2002) <sup>4</sup>Wallace, Emmerich, e Howard-Reed (2002) <sup>5</sup>Bekö et al. (2010)  
<sup>6</sup>Fabi et al. (2015) <sup>7</sup>Huang et al. (2014) <sup>8</sup>Mora, Carpino, e de Simone (2017) <sup>9</sup>(Gao e Whitehouse 2009) <sup>10</sup>ZeroCarbonHub 2015 <sup>11</sup>Calì, Osterhage, et al. (2016)  
<sup>12</sup>Jang e Kang (2016) <sup>13</sup>Rijal, Humphreys, e Nicol (2015) <sup>14</sup>Cheng e Steemers (2011) <sup>15</sup>de Meester et al. (2013) <sup>16</sup>Gill et al. (2010) <sup>17</sup>Steemers e Yun (2009)  
<sup>18</sup>Van Den Wymelenberg (2012) <sup>19</sup>Johansson, Pallin, e Shahriari (2010) <sup>20</sup>Gram-Hanssen (2010) <sup>21</sup>Guerra Santin, Itard, e Visscher (2009) <sup>22</sup>(Andersen 2012)  
<sup>23</sup>Lu, Sookoor, et al. (2010) <sup>24</sup>(Kleiminger, Mattern, e Santini 2014) <sup>25</sup>(D'Oca, Corgnati, e Buso 2014) <sup>26</sup>Pereira et al. (2017)

\* nenhuma correlação encontrada

# poucos estudos em edifícios residenciais

Figura 16 – Relação entre as ações dos ocupantes e seus impactos no ambiente interior, em edifícios residenciais.

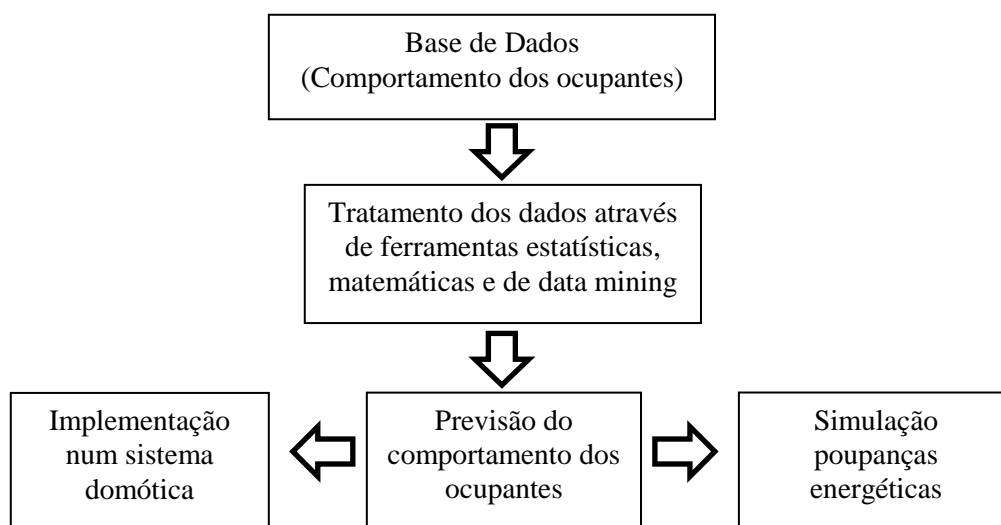


Figura 17 – Metodologia de modelação do comportamento dos ocupantes.

# 3.

## METODOLOGIA, CASO DE ESTUDO E EQUIPAMENTOS

### 3.1. METODOLOGIA

O presente trabalho seguiu uma metodologia baseada nos princípios de KDD (Knowledge Discovery in Databases) (Ren, Yan, e Hong 2015; Han e Kamber 2006; Hand, Mannila, e Smyth 2001). A opção por esta estratégia deve-se essencialmente ao tamanho das bases de dados criadas pelo sistema de monitorização e de registos diários dos ocupantes. Assim, surge a necessidade de utilização de ferramentas avançadas para descobrir conhecimento no seu interior. A descoberta do conhecimento é conhecida como KDD. Diversos autores definem KDD como um processo interdisciplinar do qual fazem parte algumas etapas que podem ser agrupadas em três grandes fases (Ren, Yan, e Hong 2015; Han e Kamber 2006; Hand, Mannila, e Smyth 2001):

- Pré-processamento - consiste, sobretudo, em entender os objetivos e requisitos que motivaram o tratamento de dados, selecionar, limpar e integrar os dados mais importantes para o estudo e efetuar as transformações e consolidações necessárias de modo a serem retiradas as inconsistências nos dados;
- “Data mining” - utilizando os dados já preparados na fase anterior, corresponde à aplicação de métodos para extrair padrões presentes nos dados;
- Pós-processamento - está relacionado com a avaliação dos resultados obtidos na fase de “data mining”, identificando os padrões realmente interessantes e que representam um conhecimento acrescido dos dados. Inclui a apresentação do conhecimento através de técnicas de visualização e apresentação de conhecimento.

Geralmente os autores dividem estes três grandes grupos em cinco etapas principais do processo de KDD: 1) seleção e limpeza dos dados; 2) pré-processamento; 3) transformação ou codificação de dados; 4) “data mining”; 5) interpretação e avaliação (Figura 18).

O “Data Mining” constitui o procedimento chave no KDD e consiste na análise de uma grande base de dados, de modo a poderem-se observar relações não óbvias entre os dados, dando assim informações singulares, interpretáveis e potencialmente úteis aos ocupantes.

Para a tarefa de “Data Mining”, o conhecimento a extrair pode ser conseguido por duas vias: uma em que o analista ajuda o sistema a construir o modelo através da definição das classes e dos exemplos em cada classe; outra em que a aprendizagem indutiva de extração de padrões não é supervisionada sendo

efetuada com base em observação e descoberta, não sendo definidas classes, tendo o sistema de “Data Mining” de observar e reconhecer os padrões por si próprio.

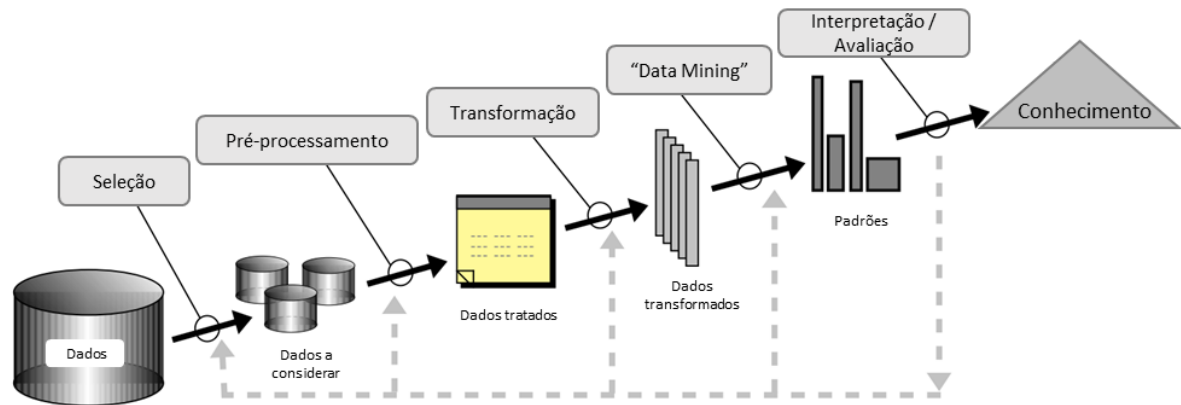


Figura 18 – Processo de KDD [adaptado de Fayyad, Piatetsky-Shapiro, e Smyth (1996)].

É usual referir-se ao “Data Mining” como podendo ter dois tipos de análises, as de previsão e as de descrição (Han e Kamber 2006). Os métodos de descrição caracterizam as propriedades gerais dos dados constituintes da base de dados, apontando as características interessantes enquanto nos métodos de previsão são efetuadas inferências sobre os dados disponíveis, bem como previsões acerca de outras variáveis ou do comportamento de novos conjuntos de dados.

Os métodos com supervisão do utilizador são normalmente associados aos métodos de previsão, enquanto os métodos sem supervisão são normalmente associados aos métodos de descrição.

A maioria dos autores desta área divide os estudos de “Data Mining” da seguinte forma:

- Classificação e Regressão (métodos supervisionados) - constitui a tarefa mais comum de utilização de “data mining”. Esta tarefa inicia-se com a formulação do objetivo da análise e com a definição dos dados a analisar. A partir da análise das características de uma grande base de dados coloca-se cada objeto dentro de uma série de classe ou categoria pré-definidas. Isto permite obter mais conhecimento sobre cada classe dentro da base de dados e classificar futuros objetos;
- Previsão (métodos supervisionados) – é uma variante dos estudos de classificação, mas envolvendo uma pontuação não binária para cada registo. Com base na classificação de dados cujo comportamento se conhece, prevê-se comportamento de dados com as mesmas características, e por isso na mesma série. Esta ação é possível através do chamado treino de dados. O modelo gerado pode ser representado de várias formas como uma regra (se-então), árvores de decisão, formulações matemáticas ou redes neuronais;
- Clusterização (métodos não supervisionados) - refere-se à segmentação de dados que partilham tendências e padrões semelhantes. Diferem dos estudos de classificação por não se estar a efetuar o perfil de uma peculiaridade específica não existindo por isso lugar à etiquetagem dos dados sem que previamente se proceda ao treino dos dados. As técnicas de Clusterização procuram semelhanças e diferenças num conjunto de dados e agrupam os registos semelhantes em clusters não sendo necessário definir os critérios base da segmentação;

- Associação, Correlações e Padrões frequentes (métodos não supervisionados) – é uma variante que estuda padrões que frequentemente ocorrem nos dados. Consiste na ideia de se poder encontrar uma relação entre ações que funcionem por associação ou em cadeia;
- Visualização – baseia-se na representação simples dos dados em gráficos. Esta forma é utilizada quando há inquéritos ou sobre uma base de dados. Por vezes a simples representação gráfica é uma boa forma de se evidenciar determinados comportamentos que sob a forma de tabelas veriam de difícil visualização. Este tipo de forma pode basear-se em gráficos bidimensionais de pequena complexidade ou em representações de elevada complexidade como com animação tridimensional e renderização.

Concretamente, no presente trabalho, as bases de dados criadas produzem essencialmente dois tipos de dados: dados constituídos por variáveis contínuas e dados de variáveis categóricas, binárias ou não. O sistema de monitorização utilizado é constituído com um conjunto de tipos de sensores distribuídos pelo caso de estudo e um conjunto de registos dos ocupantes da fração em estudo cujo objetivo é a extração de conhecimento em duas vertentes:

- Parâmetros do ambiente interior e exterior;
- Ações dos ocupantes.

De acordo com o extraído na bibliografia, considera-se útil a obtenção de informações relativas às ações dos ocupantes que mais impactos têm na higrotérmica, ventilação e consumo de energia. Será através dos dados provenientes da monitorização e dos registos dos ocupantes que se poderá ligar as ações às motivações que estão na génese da sua ocorrência assim como a quantificação dos impactos que estas provocam nos parâmetros interiores. Uma vez que as bases de dados sem tratamento possuem toda a informação utilizada neste trabalho, o tratamento e processamento de dados constituiu uma base de extrema importância. Efetuado o tratamento dos dados, também conhecido por pré-processamento, no qual se criam as bases de dados sem erros e dados corrompidos, inicia-se o processamento dos mesmos. No presente estudo o processamento dos dados permitiu extrair conhecimento sobre:

- Impactos que as ações dos ocupantes provocam no ambiente interior;
- Motivações que estão na génese das ações dos ocupantes;
- Ocorrência exata das ações dos ocupantes.

Face ao exposto, apresenta-se na Figura 19 o conjunto de processos representativo da metodologia desta tese de doutoramento baseados nos princípios de KDD.

A interligação das ações com as motivações e os impactos é conseguida através do sistema de monitorização, apresentando-se na Figura 20 a forma como estes 3 vetores se relacionam.

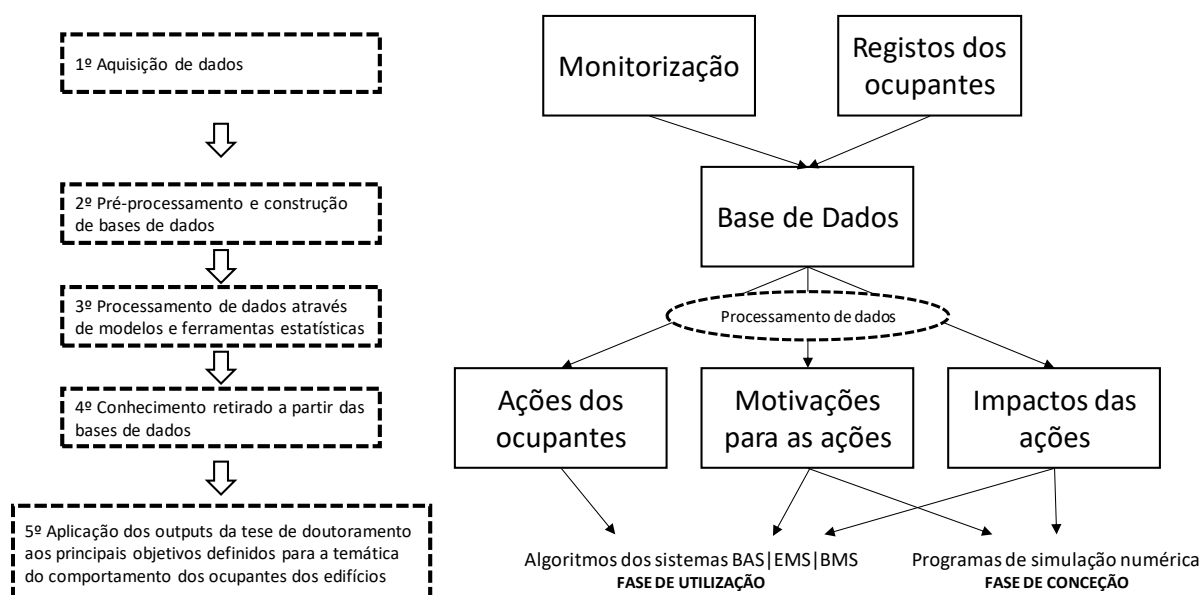


Figura 19 – Metodologia da tese de doutoramento.

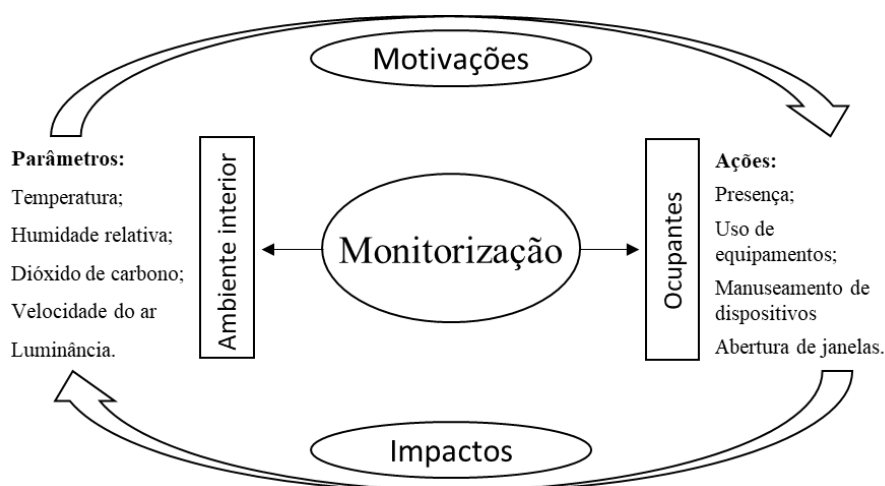


Figura 20 – Esquema de monitorização.

### 3.2. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

O caso de estudo base, alvo de monitorização, foi uma fração habitacional de um prédio multifamiliar localizado no Porto (Figura 21). A fração possui uma tipologia tipo T3 (Figura 22), estando a sala e a cozinha orientadas a sul, a suite orientada a sul e este, dois quartos a norte, uma instalação sanitária a este, existindo ainda outra instalação sanitária no interior da habitação, sem comunicação com o exterior.





Figura 21 – Localização do caso de estudo [extraído de Google maps].

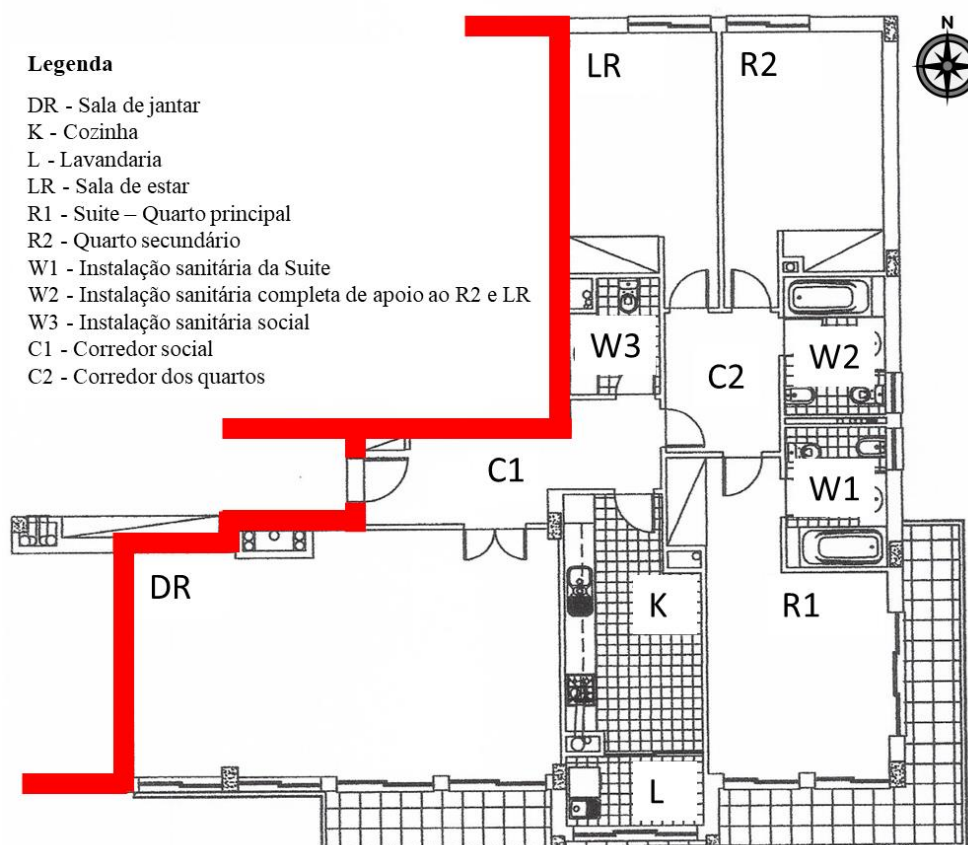


Figura 22 – Planta da fração habitacional utilizada como caso de estudo.

A fachada do edifício é do tipo ventilada com 2 cm de isolamento térmico e uma parede dupla constituída por um pano exterior com 15 cm e um interior de 11 cm com uma caixa de ar de 3 cm. Os vãos envidraçados dispõem de caixilharia em alumínio com corte térmico. À exceção das duas instalações sanitárias, cujas caixilharias são simples com vidro duplo, as restantes caixilharias são duplas com vidro simples estando a proteção solar, do tipo estore, localizada no meio das caixilharias. A fração possui frações habitacionais similares nos pisos sobrejacentes e subjacentes.

A fração possui um sistema de ventilação mecânica centralizada (VMC) com bocas de extração nas três instalações sanitárias e um sistema a duas velocidades na cozinha, com um caudal fixo e um caudal máximo nas horas das refeições. O funcionamento do sistema de ventilação é interrompido das 3:00 às 6:00 e das 15:00 às 18:00.

A fração habitacional é ocupada por um casal com idade superior a 65 anos e reformados. O quarto com ocupação noturna corresponde ao compartimento R1 com orientação de sul e este. O compartimento R2 e a sala orientada a sul (DR) têm pouco uso, sendo os serões do agregado familiar passados no compartimento orientado a norte (LR). As principais características geométricas de cada compartimento assim como a frequência do seu uso estão apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Características da habitação alvo de estudo.

Compartimento	Área Pavimento	Volume	Área janela	Orientação janela	Tipo de ocupação
	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>2</sup> )	-	-
DR	37,95	97,53	11,5	S	Ocasional
K	14,95	36,63	4,8	S	Diária
R1	18,27	46,95	10,1	S e E	Diária
LR	13,94	35,83	2,1	N	Diária
R2	14,59	37,50	2,1	N	Rara
W1	4,92	12,64	0,5	E	Diária
W2	4,96	12,74	0,5	E	Ocasional
W3	3,12	7,99	-	-	Ocasional

### 3.3. EQUIPAMENTOS

#### 3.3.1. EQUIPAMENTOS PARA AVALIAÇÃO DA ESTANQUIDADE E VENTILAÇÃO

Os ensaios de estanquidade ao ar fora efetuados através de uma porta ventiladora modelo EU-1000 da Retrotec (Figura 23).

Ao nível das renovações horárias utilizou-se um equipamento de grande precisão para determinar a concentração de gases através de espectroscopia foto acústica de infravermelhos, o Photoacoustic 1312 da Innova (Figura 24).

As principais características destes equipamentos estão apresentadas na Tabela 11.



Figura 23 – Equipamento de porta ventiladora utilizado.



Figura 24 – Equipamento de espectroscopia foto acústica utilizado.

Tabela 11 – Principais características dos equipamentos utilizados nos ensaios in-situ.

Equipamento	Intervalo de medição	Precisão	Tempo de resposta
Blowerdoor EU1000 RETROTEC	8 – 10 700 [m³/h]	±3%	-
Photoacoustic monitor 1312 INNOVA	Depende do gás traçador	Repetibilidade 1%	25 seg.

### 3.3.2. EQUIPAMENTOS COMERCIAIS DE MONITORIZAÇÃO CONTÍNUA

A monitorização contínua do ambiente interior do caso de estudo foi efetuada com recurso a dois tipos de equipamentos (Figura 25):

- ONSET – Hobo UX100-011;
- Telaire 7001 e ONSET – Hobo U12-013.

O aparelho “ONSET - Hobo UX100-011” possui dois sensores para medir a temperatura e a humidade relativa assim como um sistema de recolha e armazenamento de dados. O equipamento é de reduzidas dimensões (3,7x5,9x1,5 cm<sup>3</sup>) funcionando de forma independente. O equipamento tem capacidade de memória para recolher 84650 medições, sendo os dados recolhidos por conexão física via cabo. As principais características dos sensores podem ser observadas na Tabela 12. Adicionalmente aos dados medidos de T e HR, foram criados outros parâmetros a partir desses. A pressão parcial de vapor de água (P) foi obtida a partir da equação (8), de acordo com Künnel (1995), e o excesso de pressão de vapor de água presente no interior da habitação, ΔP que corresponde à diferença de P interior e P exterior, foi também calculada para cada instante.

$$P = \frac{HR}{100} \times 611 \times e^{\left(\frac{a \times T}{t' + T}\right)} \quad (8)$$

Onde:

P – pressão parcial de vapor de água (Pa)

HR – humidade relativa (%)

e – número de Nepper

T – temperatura (°C)

a=22,44 e t'= 272,44 if T < 0°C

a=17,08 e t'= 234,18 if T ≥ 0°C

O equipamento “Telaire 7001” possui dois sensores para medir a temperatura e a concentração de CO<sub>2</sub>, sendo que no presente trabalho apenas se utilizou o sensor de CO<sub>2</sub>. Este equipamento não possui um sistema de armazenamento de dados pelo que funciona acoplado ao equipamento “ONSET – Hobo U12 013” com capacidade para armazenar 43000 medidas. Este último equipamento possui dois sensores para medir temperatura e humidade relativa. Originalmente, esta combinação de equipamentos apenas permitia uma medição de 0 a 2500 ppm. De modo a aumentar a gama de medição utilizou-se um adaptador no cabo que divide a tensão com 2 resistências de 5 kohm permitindo uma gama de medição dos 0 aos 5000 ppm. As principais características dos sensores podem ser observadas na Tabela 12.



Figura 25 – Equipamentos de monitorização utilizados (UX100-011, Telaire 7001 e U12-013).

Antes da instalação dos sensores no local da monitorização, os mesmos foram colocados numa câmara climática da marca Vötsch e modelo VC 4034, existente no Laboratório de Física das Construções, para se verificar a precisão das medições (Figura 26). O procedimento foi repetido no final da campanha de monitorização *in situ* de modo a perceber-se se os sensores mantinham a precisão inicial. A câmara climática, por sua vez, possui características que podem ser observadas na Tabela 13. Foi efetuada uma manutenção à câmara climática cerca de 6 meses antes da sua utilização para a verificação inicial do equipamento de monitorização e 2 meses antes da verificação final.

Tabela 12 – Principais características dos sensores utilizados.

Equipamento	Sensor	Intervalo de medição	Precisão	Resolução	Tempo de resposta
ONSET - Hobo UX100-011	T Termistor de 10 kohm	-20°C a 70°C	$\pm 0,21^\circ\text{C}$ dos 0°C aos 50°C	0,024°C aos 25°C	4 min para 90% (1m/s)
	HR transdutor digital	1% a 95%	$\pm 2,5\%$ dos 10% aos 90%	0,05% aos 25°C	11 seg. para 90% (1m/s)
Telaire 7001	CO <sub>2</sub> duplo feixe de absorção de infravermelhos	0 a 5000ppm	$\pm 50$ ppm ou 5% (o maior)	1 ppm	1 min para 90%
ONSET – Hobo U12 013	T Termistor de 10 kohm	-20°C a 70°C	$\pm 0,35^\circ\text{C}$ dos 0°C aos 50°C	0,03°C aos 25°C	6 min para 90%
	HR transdutor digital	5% a 95%	$\pm 2,5\%$ dos 10% aos 90%	0,03%	1 min para 90%

A câmara climática foi sujeita ao ciclo apresentado na Figura 27. Este ciclo tem uma duração total de 24 horas e é constituído por 4 patamares com cerca de 4 horas de duração com os seguintes valores de referência:

- P1 – 35°C de T e 50% de HR;
- P2 – 25°C de T e 60% de HR;
- P3 – 15°C de T e 70% de HR;
- P4 – 10°C de T e 80% de HR.

Os períodos de transição não são considerados relevantes para efeitos de verificação dos sensores, não impedindo, no entanto, que seja feita uma análise visual dos seus valores para despistar qualquer desvio mais acentuado.

Devido ao facto dos valores declarados para a precisão da câmara climática Vötsch VC 4034 serem inferiores aos valores do fabricante dos sensores utilizados para a monitorização contínua, optou-se por fazer uma comparação entre os sensores e não com um valor absoluto de referência. Assim, ao nível da temperatura (Figura 28) e humidade relativa (Figura 29), foram obtidos os seguintes valores médios e desvio padrão para os quatro patamares do ciclo de verificação:

- P1 – 35,11°C  $\pm$  0,14°C de T e 52,65%  $\pm$  0,68% de HR;
- P2 – 25,15°C  $\pm$  0,08°C de T e 62,45%  $\pm$  0,66% de HR;
- P3 – 15,12°C  $\pm$  0,05°C de T e 72,34%  $\pm$  0,66% de HR;
- P4 – 10,14°C  $\pm$  0,05°C de T e 81,38%  $\pm$  0,67% de HR.

Os valores obtidos para a temperatura e humidade relativa, tanto antes do início da monitorização como no seu final, estão de acordo com a precisão declarada pelo fabricante dos equipamentos, apresentando



um valor de erro entre os sensores de temperatura inferior a  $\pm 0,21^{\circ}\text{C}$  e uma variação entre as medições de humidade relativa inferior a  $\pm 2,5\%$ .

Relativamente ao equipamento de medição de  $\text{CO}_2$ , este foi calibrado por uma entidade externa, o Laboratório de Metrologia de Gases, apresentando-se na Figura 30 um extrato do relatório de calibração.



Figura 26 – Câmara climática Vötsch - modelo VC 4034.

Tabela 13 – Principais características da câmara climática Vötsch VC 4034 em ensaios com controlo de T e HR.

Parâmetros	Gama
Gama de medição da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	10 a 95
Precisão temperatura – temporal ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\pm 0,1$ a $\pm 0,3$
Precisão temperatura – espacial ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\pm 0,5$ a $\pm 1$
Gama de medição de humidade relativa (%)	10 a 98
Precisão de humidade relativa – temporal (%)	$\pm 1$ a $\pm 3$

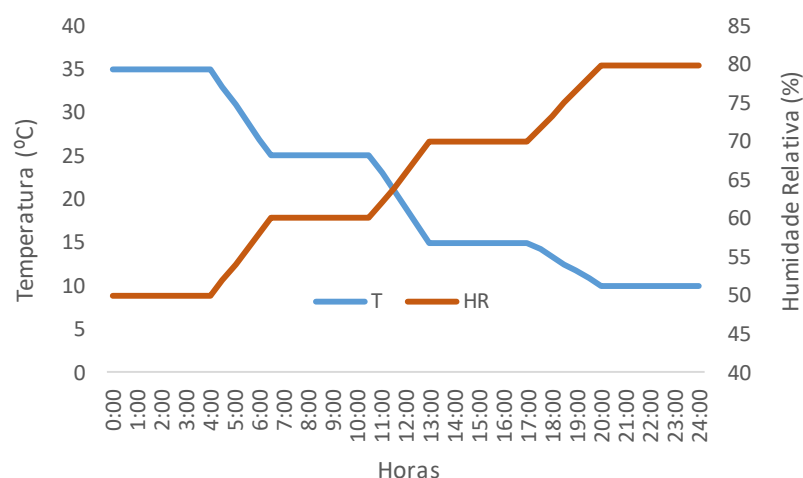


Figura 27 – Ciclo de verificação.

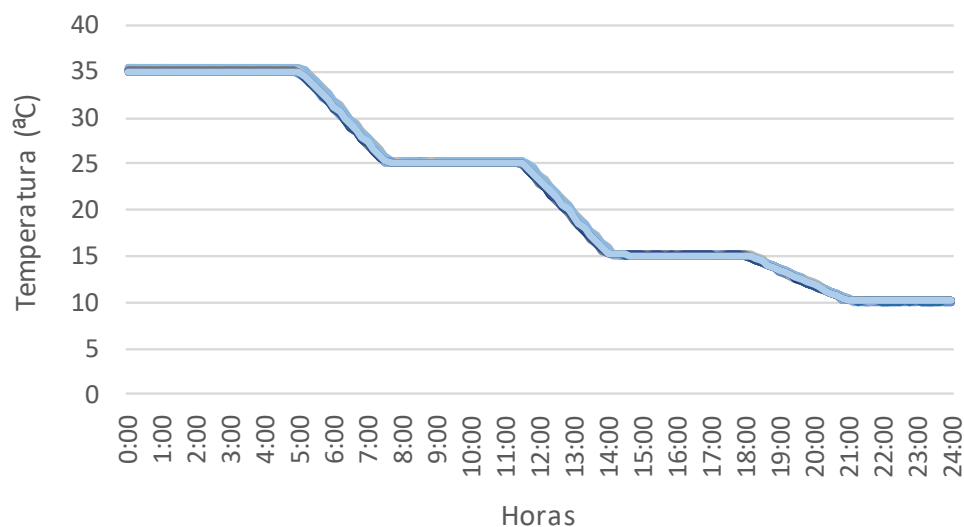


Figura 28 – Valores de temperatura obtidos pelos sensores.

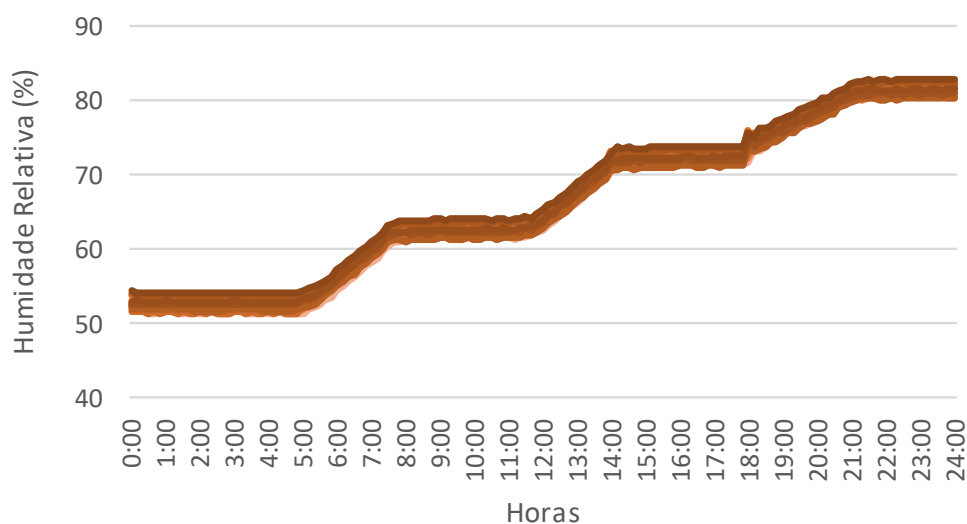


Figura 29 – Valores de umidade relativa obtidos pelos sensores.

Data de calibração:	07/05/2015			
Estado do Equipamento:	Não foram detectados aspectos relevantes que possam afectar os resultados da calibração			
Condições ambientais:	Temperatura: 23 a 24 °C		Humidade Relativa: 50 a 55%	
Incertezas:	<p>"As incertezas foram estimadas de acordo com a metodologia do documento EA-4/02 a partir das componentes da incerteza do padrão, do método de calibração e das características do equipamento calibrado (repetibilidade e resolução)."</p> <p>"As incertezas expandidas apresentadas são expressas pela incerteza padrão multiplicada por um factor de expansão de k=2 que corresponde a um intervalo de confiança de 95%".</p>			
Resultados:				
Parâmetro	Dióxido de Carbono (CO2)			
Valor de Referência [(ppm) 10 <sup>-6</sup> mol.mol <sup>-1</sup> ]	Leitura Inicial [(ppm) 10 <sup>-6</sup> mol.mol <sup>-1</sup> ]	Média de Leituras [(ppm) 10 <sup>-6</sup> mol.mol <sup>-1</sup> ]	Erro [(ppm) 10 <sup>-6</sup> mol.mol <sup>-1</sup> ]	Incerteza [(ppm) 10 <sup>-6</sup> mol.mol <sup>-1</sup> ]
500	-	501	1	16
7988	-	7281	-7.1E+02	4.2E+02
Correcções:	Parâmetro CO2	Ajuste Não		
Observações:	Para os parâmetros onde foram efectuados ajustes, as leituras iniciais e média das leituras foram registadas antes e depois dos ajustes respectivamente			

Figura 30 – Extrato do relatório de calibração do equipamento de medição de CO<sub>2</sub>.

Na fração em estudo existe um sistema de aquecimento centralizado com radiadores em todos os compartimentos, cujo funcionamento é conseguido pelo aquecimento da água através de uma caldeira mural a gás natural. Contudo, os ocupantes da fração em estudo não utilizam este sistema de aquecimento, utilizando um aquecedor elétrico a óleo no compartimento LR com 2000 W de potência. Deste modo, o consumo da energia despendida para aquecimento ambiente da fração em estudo foi monitorizado através do equipamento evidenciado na Figura 31.



Figura 31 – Equipamento de monitorização dos consumos energéticos no aquecimento ambiente.

### 3.3.3. PROTÓTIPOS DE MONITORIZAÇÃO CONTÍNUA

#### 3.3.3.1. Protótipo de deteção de abertura de janelas e persianas

De modo a poder-se conhecer o estado das janelas e persianas do compartimento R1, foi montado de raiz um módulo de monitorização tendo por base os sensores “reed switch”.

Estes sensores “reed switch”, consistem em dispositivos formados por uma cápsula de vidro hermeticamente selada, existindo no seu interior lâminas metálicas flexíveis e um gás inerte de modo a evitar a ação corrosiva do ar sobre as lâminas. O funcionamento dos sensores está baseado na ação que um campo magnético fará com que as lâminas se unam, criando assim um circuito elétrico. Quando o campo magnético deixa de ser sentido, as lâminas voltam à posição inicial (sem contacto) abrindo-se o circuito elétrico e impedindo-se a passagem de corrente. Apresenta-se na Figura 32 os esquemas dos sensores “reed switch” no estado de circuito aberto (imagem superior) e circuito fechado (imagem inferior).

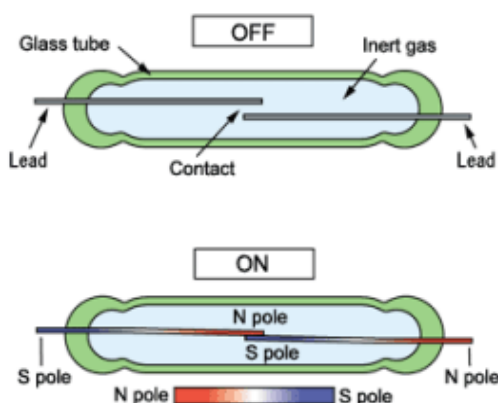


Figura 32 – Esquema de funcionamento dos sensores “reed switch” [ficha de produto].



O sensor de janelas foi projetado para ser um sistema autónomo, alimentado por uma bateria de polímero de lítio de 3,7 V com longa duração (2500 mAh). Este módulo é constituído por (Figura 33):

- um microcontrolador Arduíno Pro-micro;
- um shield que integra um leitor de cartões microSD;
- um RTC (real time clock);
- um circuito detetor de alteração de estados dos sensores e geração de interrupções.

As características dos sensores reed switch podem ser observadas na Tabela 14.

Tabela 14 – Principais características dos sensores de deteção de estado das janelas e persianas.

Parâmetro medido	Sensor	Estado de medição	Tempo de resposta
Estado das janelas e persianas	Reed switch de lâminas simples	Aberto; fechado	1 milissegundo



Figura 33 – Módulo de deteção de estado das janelas e persianas.

Este Arduíno encontra-se, normalmente, no estado de hibernação de baixa energia para poupar bateria. Quando existe uma alteração em qualquer dos sensores que detetam a posição/movimento da janela (quando entram num campo magnético), é gerada uma interrupção que provoca o acordar do sistema. Nesse instante, o microcontrolador liga o cartão de registo de eventos (micro SD card) e o RTC, que também se encontram desligados para poupar bateria, lê a data e hora, lê o estado de todos os sensores e escreve no ficheiro de registo de eventos a data, a hora e o estado de todos os sensores. Em seguida, envia um impulso de relógio ao sistema de deteção de alteração de estados, para limpar a interrupção e ficar à espera de nova interrupção. Entra, então, novamente em estado de hibernação até que ocorra novo evento. Na Figura 34 apresenta-se o diagrama de estados que está descrito em termos temporais o funcionamento do sistema de deteção de eventos e geração de interrupções.

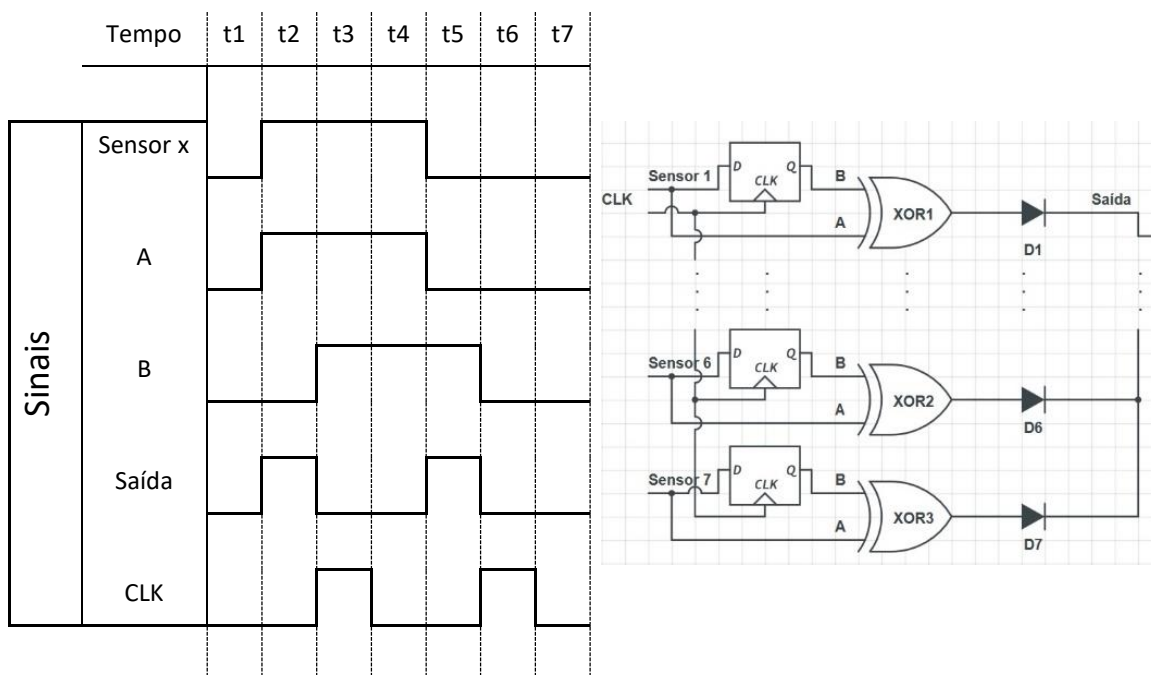


Figura 34 – Diagrama de estados - funcionamento do sistema de detecção de eventos e geração de interrupções.

Onde:

t1 – Estado inicial;

t2 – O sensor x muda de 0 para 1; a saída muda para 1; o microcontrolador acorda, lê as entradas e grava no cartão a data, a hora, a tensão na bateria e o estado dos sensores;

t3 – O microcontrolador faz o reset da interrupção, ativando o sinal de reset; o valor do sensor é “copiado” para o sinal B; sempre que o XOR tem as duas entradas iguais, a saída comuta para 0. O microcontrolador entra novamente em estado de baixo consumo.

t4 – Não existe alteração, não faz nada;

t5 – O sensor x passa, agora, de 1 para 0; a saída muda para 1; o microcontrolador acorda, lê as entradas e grava no cartão a data, a hora, a tensão na bateria e o estado dos sensores;

t6 – O microcontrolador faz o reset da interrupção, ativando o sinal de reset; o valor do sensor é “copiado” para o sinal B; sempre que o XOR tem as duas entradas iguais, a saída comuta para 0. O microcontrolador entra novamente em estado de baixo consumo.

O sistema tem 7 sensores reed switch (Figura 35): 3 deles para a detecção da posição da janela e 4 para a posição do estore. Estão divididos, ainda, de duas formas: isolados e num grupo de dois.

Para ativar os sensores reed switch foram usados dois ímãs neodímio (Figura 35) circulares com 1 mm de espessura e diâmetro de 5 mm. Um dos ímãs foi colocado na persiana e outro na janela.

Para a janela, são utilizados um sensor simples e um duplo; o simples é colocado na posição de janela fechada e o duplo a meio do percurso. Desta forma, consegue saber-se quando a janela está fechada ou aberta; quando aberta, se está a menos de 50%, a 50% ou a mais de 50%.

O estore tem um sensor na posição de fechado, um duplo a meio do curso e um sensor na posição de aberto; desta forma, consegue saber-se se está totalmente fechado, totalmente aberto, se está a menos de 50%, a 50% ou a mais de 50%.

O módulo está confinado a uma caixa com 25x43x71 mm<sup>3</sup>, podendo a sua instalação no caso de estudo ser observada na Figura 36.

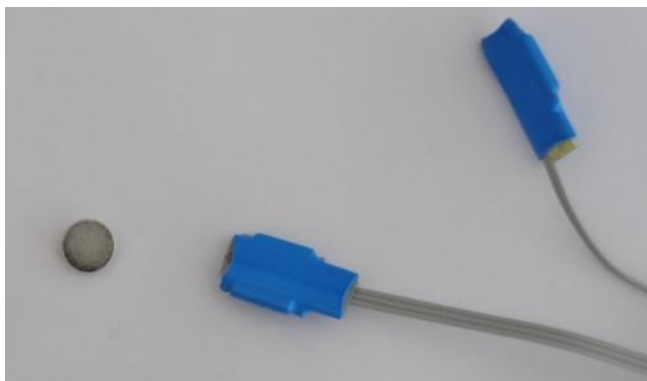


Figura 35 – Íman e sensores reed switch.



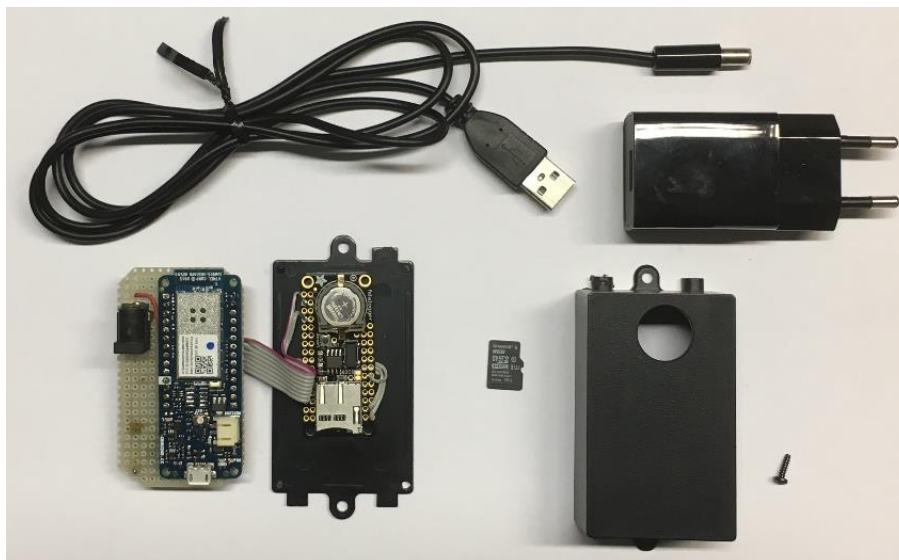
Figura 36 – Instalação do módulo no caso de estudo.

#### 3.3.3.2. Protótipo de medição de CO<sub>2</sub>

De modo a aumentar-se a precisão do sistema de medição de concentração de CO<sub>2</sub>, face ao equipamento disponível e indicado na Tabela 12, construiu-se um módulo de CO<sub>2</sub>. Este módulo é constituído pelos seguintes componentes (Figura 37):

- um sensor da marca Telsaire, modelo T6713;
- um Arduino MKR1000 para aquisição e tratamento de dados (possui módulo de WI-Fi integrado);

- um shield que integra um leitor de cartões microSD;
- um RTC;
- suporte e comunicação com o cartão microSD de memória para armazenamento de dados.


Figura 37 – Módulo protótipo de CO<sub>2</sub>.

As características do sensor de CO<sub>2</sub> podem ser observadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Principais características dos sensores de CO<sub>2</sub>.

Parâmetro medido	Sensor	Intervalo de medição	Precisão	Resolução	Tempo de resposta
CO <sub>2</sub>	NDIR (non dispersive infrared)	0 a 5000ppm	±25 ppm ou ±3% (0 a 2000 ppm) ±30 ppm ou ±3% (2000 a 5000 ppm)	1 ppm	3 min para 90%

De entre as várias possibilidades de comunicação do sensor de CO<sub>2</sub>, optou-se pela utilização da saída PWM regulada para 1Hz, pois permite uma forma simples e precisa de medição do CO<sub>2</sub>.

A alimentação do conjunto é feita por uma fonte de 5V com um mínimo de 200mA de corrente. Devido a este consumo elevado, apenas se consegue a alimentação deste módulo através da ligação à rede elétrica, ficando o uso de baterias sem efeito. Assim, optou-se por utilizar um cabo com USB para acoplar às bastante difundidas fichas com entrada USB ou até para obter energia através das portas USB de um computador. Outra particularidade deste sensor reside no facto de só se atingir a precisão máxima após haver um aquecimento prévio do sensor que demora cerca de 10 minutos. Deste modo, os instantes anteriores ao aquecimento prévio não produzem resultados, sendo descartados. Esta singularidade

funcional impossibilita a existência de uma otimização relevante do consumo do sensor, não sendo plausível colocá-lo em hibernação devido às exigências definidas para os intervalos de medição.

A nível de medição, a cada intervalo de medição definido no programa de interface do módulo, o microcontrolador mede o duty cycle da onda de 1Hz presente no pino PWM do sensor; o tempo positivo desta onda indica o valor em ppm do CO<sub>2</sub> medido, sendo que cada medição está espaçada da outra por uma pausa de 2ms. Para o cálculo da concentração de CO<sub>2</sub>, aplica-se a seguinte fórmula:

$$C_{(t)} = (t_{pulse} - 2) \times 5 \quad (9)$$

Onde:

C(t) – concentração de CO<sub>2</sub> no intervalo de tempo t (ppm);

t<sub>pulse</sub> = tempo em que a onda está no estado 1 (milissegundos).

Sempre que o sensor é posto em funcionamento, ocorrem os seguintes eventos:

- Verifica a presença, ou não, do ficheiro de configuração do relógio. Caso esteja presente, o relógio é reconfigurado; caso contrário, fica inalterado;
- Verifica a existência do ficheiro de configuração do intervalo entre medições e configura o tempo de intervalo;
- Escreve/cria no cartão o ficheiro datalog.txt, a data e a hora, seguidas do texto de aviso de que o sensor foi iniciado e de que os registos de valores dos primeiros 10 minutos devem ser descartados. Isto deve-se ao facto de o sensor só atingir a sua máxima precisão ao fim de 10 minutos;
- A cada intervalo de tempo definido, é registada no cartão uma nova linha de texto com a data, a hora e o valor de CO<sub>2</sub> em ppm.

O módulo está confinado a uma caixa com 25x43x71 mm<sup>3</sup>, podendo observar-se na Figura 38 as reduzidas dimensões do módulo por comparação com uma moeda e uma ficha 220V / USB.



Figura 38 – Dimensão do módulo de CO<sub>2</sub>.

### 3.3.3.3. Protótipo de T/ HR, Movimento e Iluminância

Como resultado da pesquisa bibliográfica detetou-se uma lacuna no mercado relacionada com a ausência de módulos que integrassem alguns sensores úteis para o estudo do comportamento dos ocupantes dos edifícios a um custo reduzido (capítulo 2.3.1). Com o objetivo de se criar um equipamento que fizesse face a esta lacuna, criou-se um módulo que integrou sensores de T, HR, iluminância e movimento. O sensor é alimentado por uma bateria de polímero de lítio de 3,7V com longa duração (1350 mAh ou 2500 mAh), sendo constituído por:

- um microcontrolador Arduino Pro-micro;
- um shield que integra um leitor de cartões microSD;
- um RTC;
- um sensor PIR;
- um sensor luz do espectro visível;
- um sensor de T e HR.

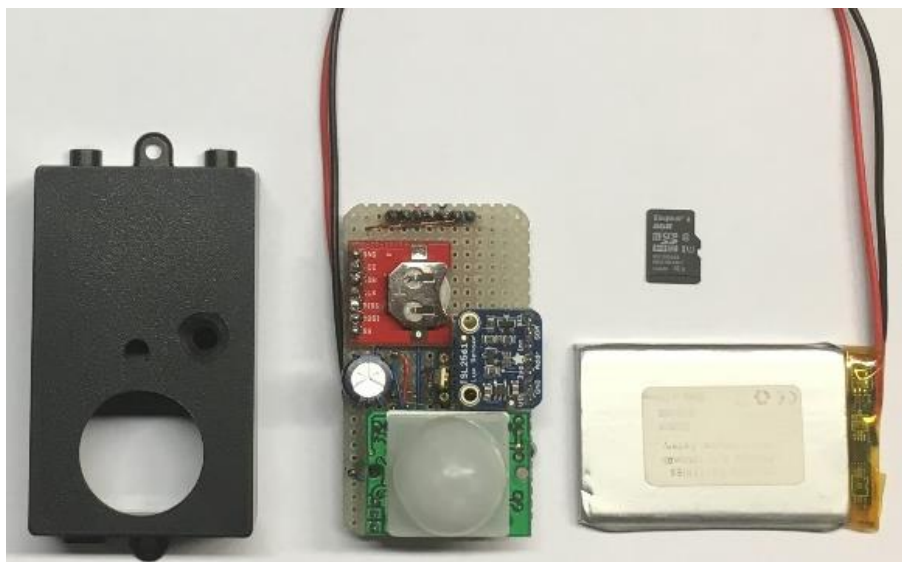


Figura 39 – Módulo protótipo de T, HR, iluminância e movimento.

As características dos sensores usados neste módulo podem ser observadas na Tabela 16.

Quando é alimentado, o sistema procura os ficheiros de configuração, configura o tempo de intervalo entre medições e, caso exista o ficheiro de configuração do relógio, configura o relógio. Em seguida, entra em estado de hibernação para poupar bateria, desligando o cartão SD, o sensor de temperatura e humidade e o sensor de iluminância. Existem duas formas de acordar o sistema: ou ocorre um evento do sensor PIR, ou ocorre um alarme de intervalo de tempo gerado pelo relógio. Se o evento for causado pelo PIR, tal significa que foi detetada a presença de pessoas no espaço, o sistema acorda, liga o cartão de memória, lê data e hora e regista uma nova linha na base de dados com a data, hora e o estado do sensor. Em seguida, o sistema entra novamente em estado de baixo consumo de energia. Se o evento for causado por uma interrupção gerada pelo alarme do RTC, os sensores de iluminância, temperatura e humidade são ligados iniciando-se de imediato uma medida dos valores atuais da temperatura, humidade e iluminância. Em seguida, estes valores são registados numa nova linha da base de dados com data, hora, tensão da bateria, temperatura, humidade, temperatura de condensação e iluminância em Lux. O



sistema configura novo alarme conforme o intervalo de tempo definido e volta a entrar em estado de baixo consumo de energia.

Tabela 16 – Principais características dos sensores de T, HR, iluminância e movimento.

Parâmetro medido	Sensor	Intervalo de medição	Precisão	Resolução	Tempo de resposta
T	T Termistor de 10 Kohm	-20°C a 70°C	±0,21°C dos 0°C aos 50°C	0,024°C aos 25°C	4 min para 90%
HR	HR transdutor digital	1% a 95%	±2,5% dos 10% aos 90%	0,05% aos 25°C	11 seg. para 90%
Iluminância (LUX)	Células CdS	0,1 a 40,000 Lux	-	1 lux	-
Ocupação	PIR	±50° face à normal do sensor	-	-	1 seg.

O módulo está confinado à dimensão da caixa com 25x43x71 mm<sup>3</sup>, quando está em uso a bateria de 1350 mAh como se pode observar na Figura 40. A bateria, com cerca do dobro da autonomia (2500 mAh), tem dimensões superiores - 5x43x91 mm<sup>3</sup>.

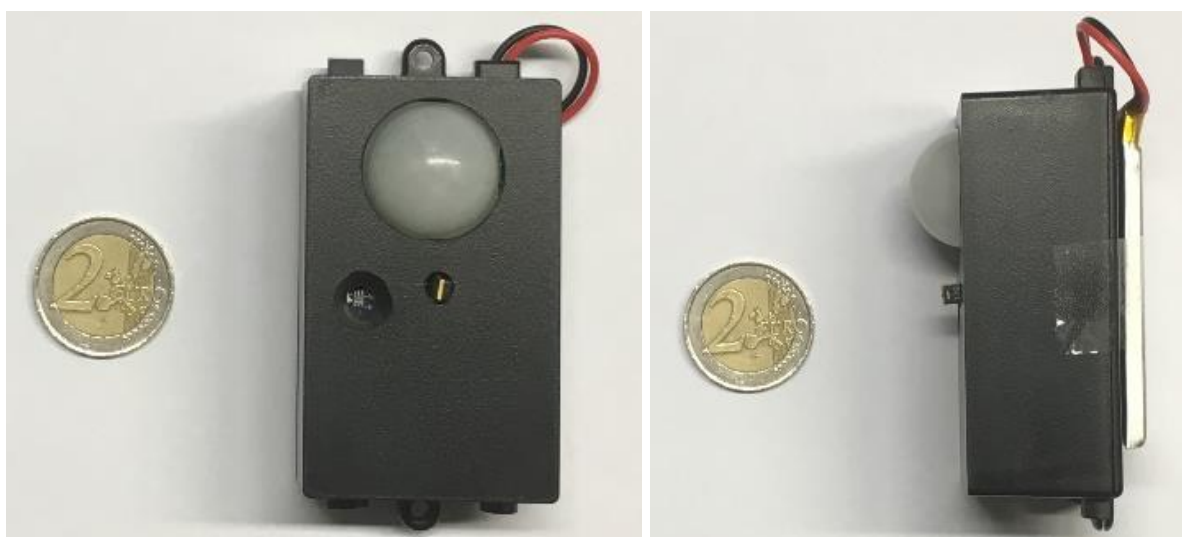


Figura 40 – Dimensão do módulo de T, HR, iluminância e movimento.

#### 3.3.3.4. Verificação dos protótipos

Relativamente à validação dos módulos protótipo, apresenta-se abaixo a estratégia seguida:

- Sensor de T e HR – foi usada a mesma metodologia seguida para os sensores “Hobo UX100-011”, tendo-se verificado na câmara climática Vötsch através do ciclo apresentado na Figura 27. Os resultados da verificação estão apresentados na Figura 41, não se tendo observado desvios superiores ao declarados pelo fabricante. No patamar P1 obteve-se um valor médio de

temperatura de 34,98°C e um desvio padrão de 0,01°C e uma humidade relativa média de 51,98% e um desvio padrão de 0,15%; no P2 obteve-se um valor médio de temperatura de 25,08°C e um desvio padrão de 0,01°C e uma humidade relativa média de 61,87% e um desvio padrão de 0,19%; no P3 obteve-se um valor médio de temperatura de 15,09°C e um desvio padrão de 0,01°C e uma humidade relativa média de 71,94% e um desvio padrão de 0,66%; no P4 obteve-se um valor médio de temperatura de 10,14°C e um desvio padrão de 0,03°C e uma humidade relativa média de 80,88% e um desvio padrão de 0,19%;

- Sensor de iluminância – foram comparados os valores de iluminância obtidos através do protótipo com outros tipos de sensores como o ISL29125 e o SII145. Os valores foram registados nas mesmas condições, durante 6 dias, num gabinete de escritórios sem janela com iluminação direta, nas instalações do Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Os dois primeiros dias de medição corresponderam a dias de fim de semana, não havendo por isso ocupação. Seguiram-se quatro dias de ocupação em horário laboral das 9 às 18, aproximadamente. Contudo, nos dois primeiros dias uma das duas lâmpadas do candeeiro do gabinete estava fundida, tendo-se substituído essa lâmpada nos dois dias posteriores. Os valores obtidos estão apresentados na Figura 42. Pode-se observar que os valores obtidos para os três sensores são praticamente coincidentes;
- Sensor de movimento – foram comparados os valores obtidos pelo sensor com os valores registados manualmente pelos ocupantes de um gabinete de escritórios durante 15 dias. Os resultados mostraram uma precisão, ao minuto, em 100% dos casos;
- Sensor de CO<sub>2</sub> – foram comparadas as concentrações de CO<sub>2</sub> obtidas com o protótipo e com outros tipos de sensores como o Telaire 7001 e o MG811. Os valores foram registados nas mesmas condições, durante 5 dias, num gabinete de escritórios nas instalações do Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Os dois primeiros dias de medição corresponderam a dias de fim de semana, não havendo por isso ocupação, seguindo-se três dias de ocupação em horário laboral das 9 às 18, aproximadamente. Os valores obtidos estão apresentados na Figura 43. Pode-se observar que os valores obtidos a partir do protótipo são muito mais estáveis do que os obtidos através dos outros sensores. Pode-se ainda verificar que a tendência de evolução da concentração do CO<sub>2</sub> dos três sensores testados é semelhante;
- Sensores reed switch – foram comparados os valores obtidos pelo sensor com os valores registados manualmente pelos ocupantes de um gabinete de escritórios durante 100 ações. Os resultados mostraram uma precisão, ao minuto, em 100% dos casos.



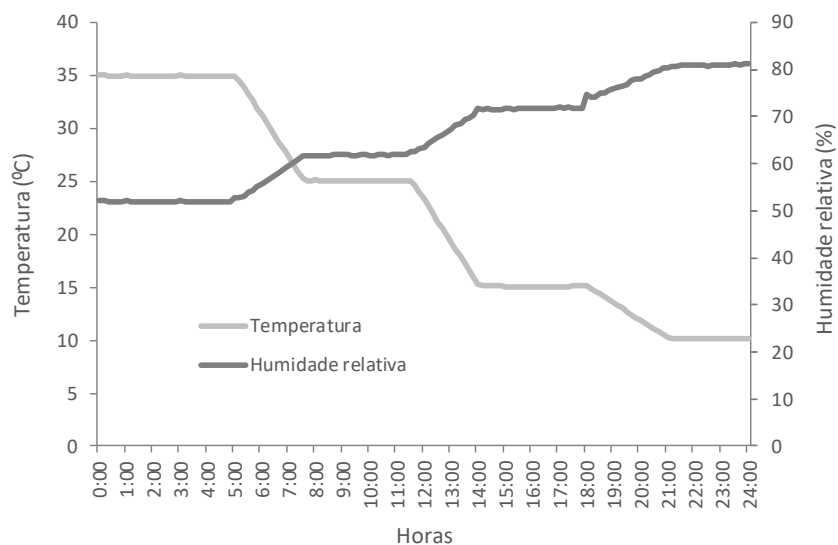


Figura 41 – Verificação dos sensores de T e HR do protótipo.

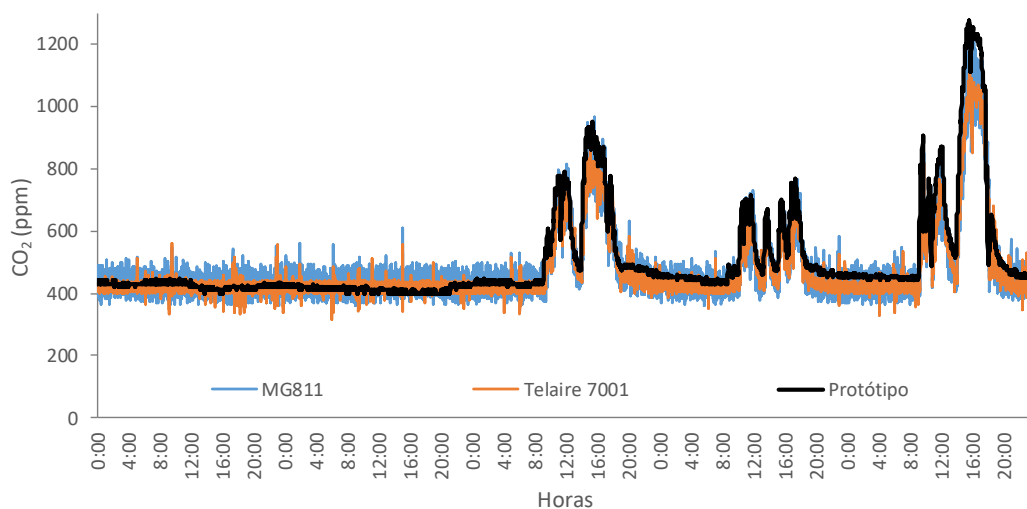


Figura 42 – Verificação dos sensores de iluminância do protótipo.

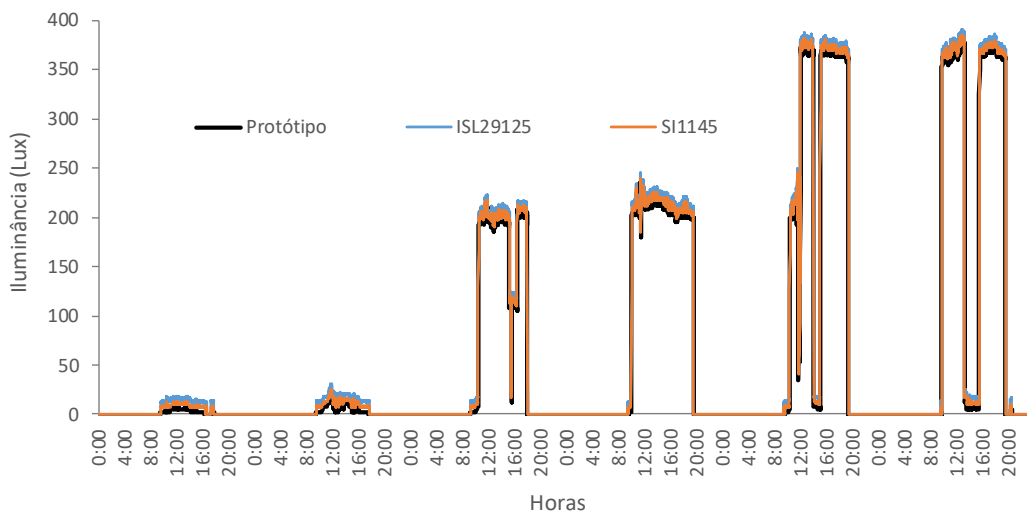


Figura 43 – Verificação dos sensores de CO<sub>2</sub> do protótipo.

### 3.4. REGISTO DIÁRIO DOS OCUPANTES

Complementarmente à campanha de monitorização, foram solicitadas informações aos ocupantes numa base diária sobre a sua atividade na habitação. Estes registos diários incluíam a informação sobre o tempo de ocorrência de algumas ações assim como o estado de ocupação de alguns compartimentos. Foi solicitado o preenchimento das seguintes ações/estados:

- Estado de ocupação dos diferentes espaços da habitação;
- Estado dos estores;
- Estado das janelas;
- Estado do aquecimento;
- Ato de tomar banho;
- Ato de cozinhar.

Os registos diários foram preenchidos sob a forma de papel, apresentando-se na Figura 44 e na Figura 45 os campos cujo preenchimento se solicitou no compartimento R1 e no compartimento K, respetivamente. No final, os registos dos ocupantes foram passados para uma folha de cálculo sob a forma de série temporal binária. Na Figura 46 e na Figura 47 apresentam-se séries temporais binárias obtidas através dos registos diários acerca do estado de abertura das janelas no compartimento R1 do período de 1 de julho de 2015 a 3 de julho de 2015.

Dia	Hora de abertura de janelas	Hora de fecho de janelas	Hora de abertura das persianas	Hora de fecho das persianas	Período de ocupação prolongada
1/7/2015					
2/7/2015					
3/7/2015					
...					

Figura 44 – Registo diário do compartimento R1.

Dia	Hora de início do ato de cozinhar
1/7/2015	
2/7/2015	
3/7/2015	
...	

Figura 45 – Registo diário do compartimento K.

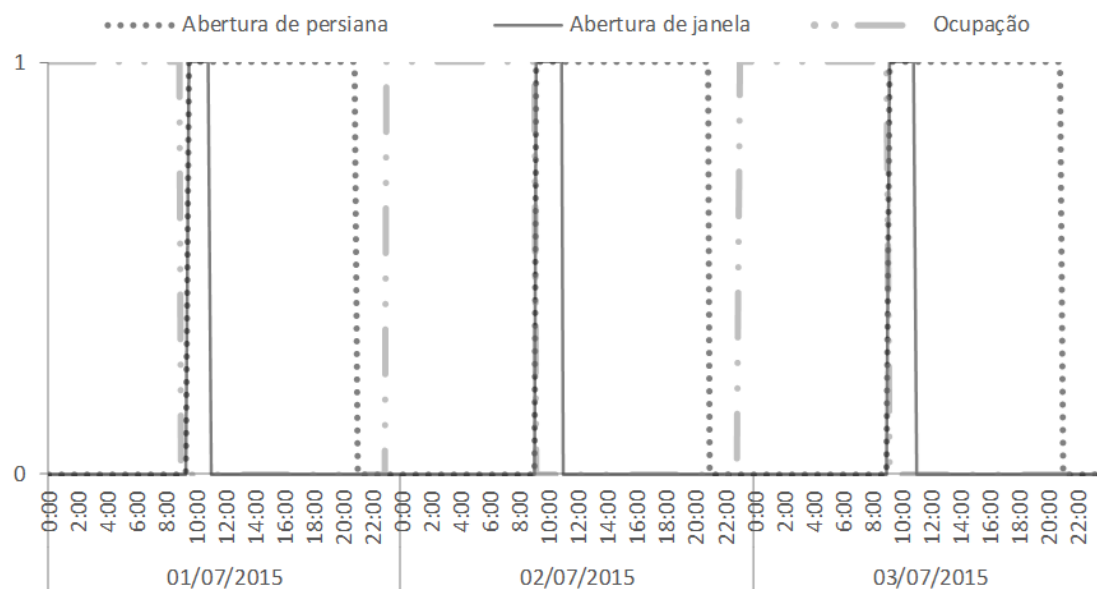


Figura 46 – Exemplo das séries temporais obtidas no compartimento R1 através dos registos diários.

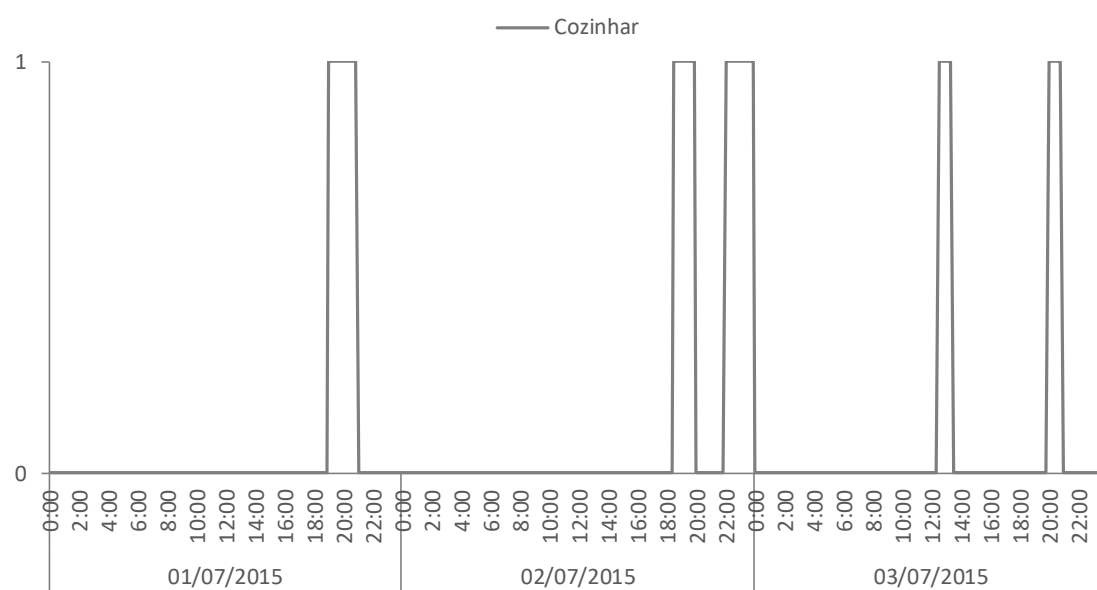


Figura 47 – Exemplo da série temporal binária obtida no compartimento K através dos registos diários.

No primeiro ano de monitorização (1 de julho de 2015 a 30 de junho de 2016), foi pedido o preenchimento diário destas ações. Contudo, analisados os dados, foi verificado o já indicado nos trabalhos de Hnat et al. (2011) e Nguyen e Aiello (2013). A extensão temporal dos registos dos ocupantes estava a prejudicar a precisão dos mesmos. Deste modo, no segundo ano de monitorização, apenas foram solicitados dois meses de inverno, não consecutivos, e um mês de verão, dezembro de 2016 e fevereiro de 2017 e junho de 2017, respetivamente.

### **3.5. CAMPANHA DE AVALIAÇÃO IN-SITU**

O caso de estudo foi monitorizado durante 2 anos consecutivos, desde o dia 1 de julho de 2015 até ao dia 30 de junho de 2017. Como indicado no capítulo 3.4, seguiram-se estratégias diferentes ao longo dos 2 anos de monitorização relativamente ao registo das ações por parte dos ocupantes. Para além disso, em função dos resultados prévios obtidos, foram desenvolvidos os protótipos de monitorização indicados no capítulo 3.3.3.

A campanha de monitorização foi dividida em fases distintas, em função dos objetivos pretendidos nos três capítulos de desenvolvimento desta tese de doutoramento (capítulo 4, 5 e 6). Foi seguido o princípio defendido por Yan et al. (2015), tendo-se analisado pelo menos 1 ano completo de dados. Para o capítulo 4 e 5 foram utilizados dados da fase inicial da campanha de monitorização. No segundo ano de monitorização adaptaram-se os registos dos ocupantes e foram instalados os protótipos de monitorização criados no âmbito desta tese de doutoramento, para se conseguir atingir os objetivos pretendidos no capítulo 6.

Relativamente à campanha de monitorização, esta foi contínua em todos os sensores existindo, no entanto, pequenos hiatos temporais. Estes hiatos estão de acordo com o indicado pela bibliografia como comuns para este tipo de monitorização (Calì, Andersen, et al. 2016; Bekö et al. 2010; Hnat et al. 2011).

Foram instalados 20 equipamentos ONSET - Hobo UX100-011; 2 equipamentos Telaire 7001 com ONSET - Hobo U12-013; o módulo protótipo de CO<sub>2</sub> e o módulo protótipo de deteção dos estados das janelas e persianas. A localização dos equipamentos pode ser observada na Figura 48 e na Tabela 17. As disposições apresentadas correspondem à configuração inicial, tendo esta sido alterada ao longo do período de monitorização. Em cada capítulo onde foram usados dados do sistema de monitorização está indicada a posição dos sensores utilizados. Os sensores de T e HR foram distribuídos seguindo-se as recomendações constantes na norma ISO-7726 (1998) e no trabalho de Hnat et al. (2011) e para a distribuição dos sensores de CO<sub>2</sub> seguiram-se as recomendações da norma ASHRAE-62.1 (2007) e dos trabalhos de Hnat et al. (2011) e de Mahyuddin e Awbi (2012).

A monitorização foi realizada por intermédio de sensores da Classe III, utilizados nos estudos sobre conforto térmico, de acordo com os autores Brager e De Dear (1998). Um dos objetivos desta monitorização é a análise da adequabilidade e fiabilidade do uso deste tipo de sensores para estudar o comportamento dos ocupantes.

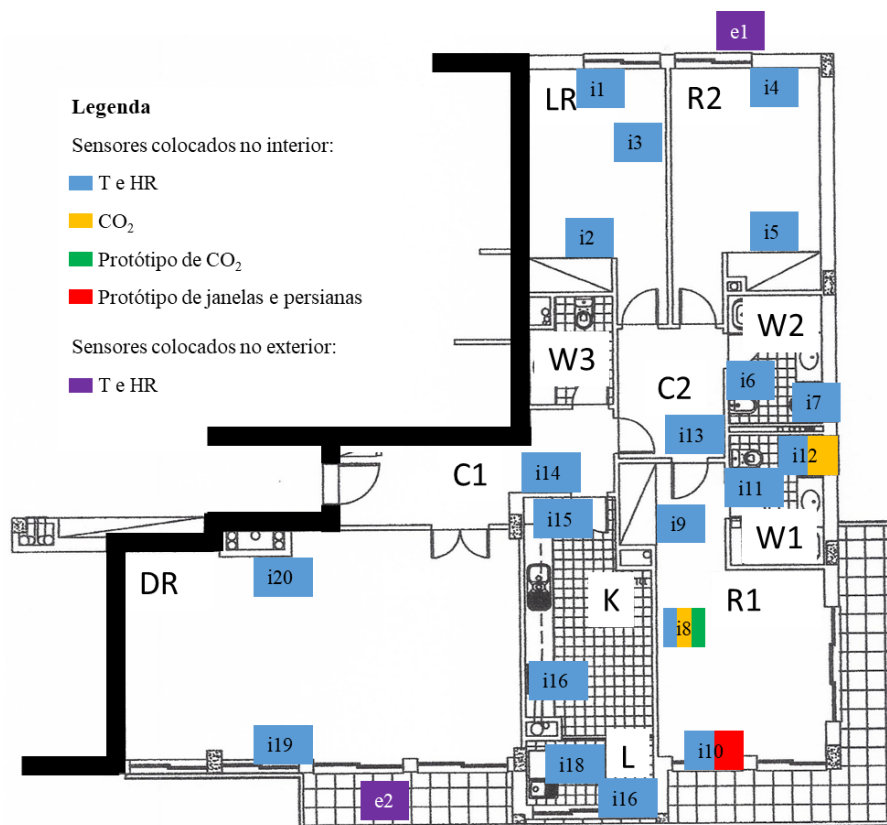


Figura 48 – Localização dos equipamentos de monitorização.

Tabela 17 – Fotografia da localização dos equipamentos de monitorização.

Id.	Fotografia	Id.	Fotografia
i1		i2	
i3		i4	

Tabela 17 – Fotografia da localização dos equipamentos de monitorização.

Id.	Fotografia	Id.	Fotografia
i5		i6	
i7		i8	
i9		i10	
i11		i12	
i13		i14	



Tabela 17 – Fotografia da localização dos equipamentos de monitorização.

Id.	Fotografia	Id.	Fotografia
i15		i16	
i17		i18	
i19		i20	
e1		e2	

### 3.6. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA EXTERIOR

O clima exterior foi obtido a partir da estação meteorológica do Departamento de Proteção Civil da Câmara Municipal do Porto que está localizada a cerca de 400 m do caso de estudo. A estação meteorológica é da marca Davis, modelo Vantage Pro 2 Plus e a sua instalação no local pode ser observada na Figura 49. É possível obter os seguintes parâmetros da estação meteorológica:

- Temperatura;
- Humidade relativa
- Velocidade do vento;
- Direção do vento;

- Índice THW (Temperatura que inclui o efeito do vento para na sua percepção);
- Precipitação;
- Radiação solar global;
- Índice de UV (ultra violetas).

A estação meteorológica está disponível on-line através do site:

<https://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=IPORTOPO9> (Porto 2018).



Figura 49 – Instalação da estação meteorológica no local.

Os valores médios horários correspondentes aos parâmetros de temperatura, humidade relativa e radiação solar global são apresentados na Figura 50, Figura 51, Figura 52, respetivamente. Na Figura 53 apresentam-se os valores diários acumulados da precipitação e na Figura 54 apresentam-se os valores da direção do vento mais frequentes, em função da percentagem de ocorrência e a direção do vento média e máxima diária por orientação.

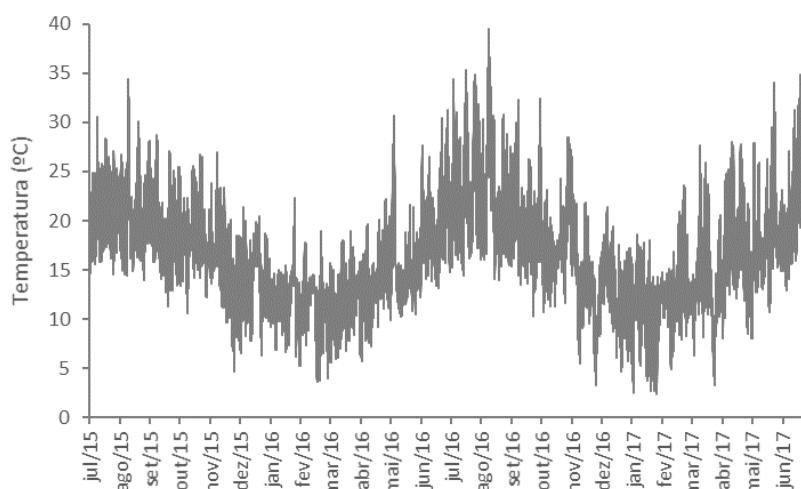


Figura 50 – Valores médios horários da temperatura exterior.



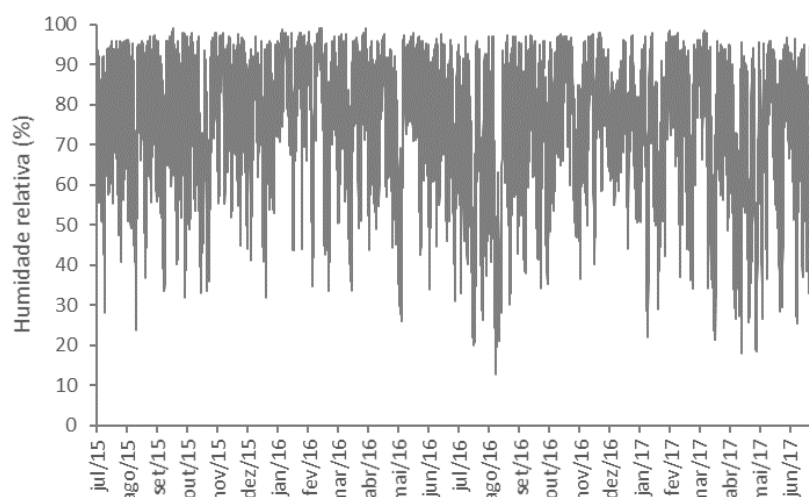


Figura 51 – Valores médios horários da umidade relativa exterior.

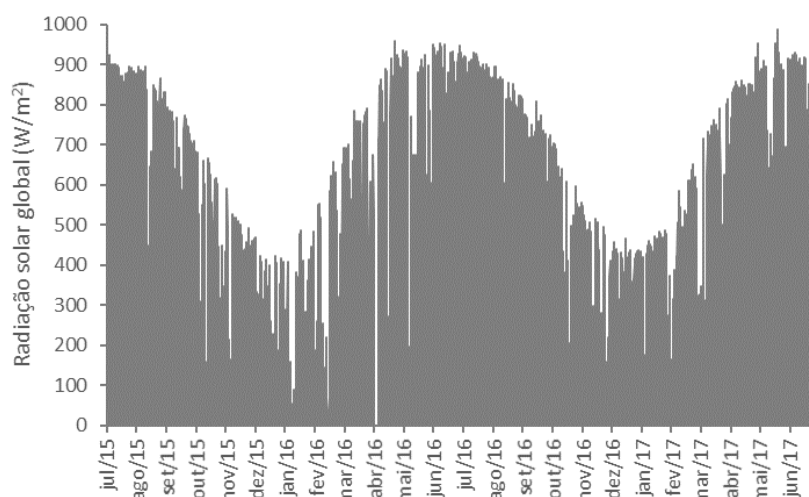


Figura 52 – Valores médios horários da radiação solar global.

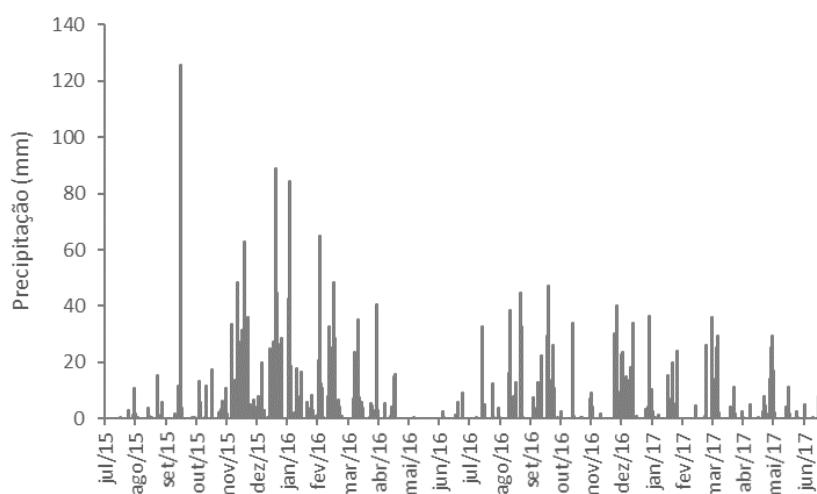


Figura 53 – Valores acumulados diários da precipitação.

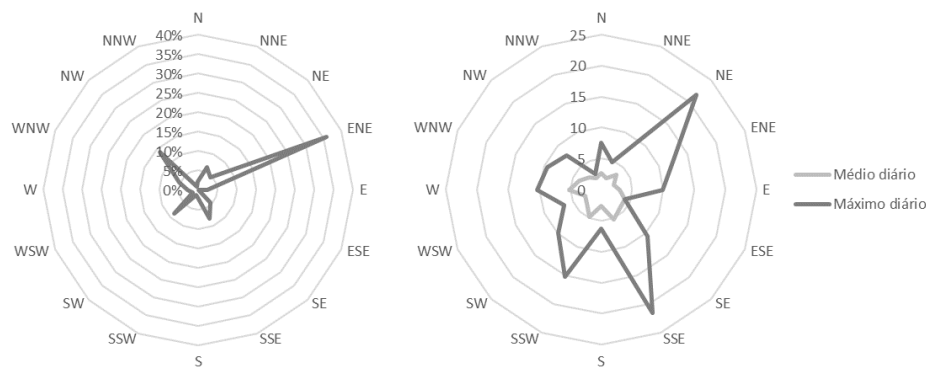


Figura 54 – Tendência da direção do vento (gráfico da esquerda) e velocidade média/máxima diária por orientação em m/s (gráfico da direita).

Analisando o clima exterior apresentado da Figura 50 à Figura 54 por comparação com o ano climático de referência (TRY – test reference year) para o Porto apresentado pelos autores Barreira et al. (2017) foi possível observar o seguinte:

- A temperatura apresenta uma gama ligeiramente mais elevada que o TRY, sendo que o verão de 2016 foi ligeiramente mais quente, não se tendo atingido temperaturas tão baixas nos meses de inverno;
- A humidade relativa teve um comportamento semelhante;
- A radiação solar global apresenta valores em geral superiores aos do TRY. De acordo com as especificações técnicas dos dois tipos de piranómetros usados e de acordo com o trabalho dos autores Oliveira et al. (1996) estas diferenças podem estar relacionadas com desvios na medição dos próprios sensores devido a erros de calibração em fábrica ou devido ao envelhecimento dos sensores;
- A precipitação do inverno de 2015/2016 apresentou valores idênticos à normal, contudo, o inverno de 2016/2017 foi excecionalmente seco.

### 3.7. CARACTERIZAÇÃO DA ESTANQUIDADE E VENTILAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

#### 3.7.1. METODOLOGIA

As condições de ventilação da fração habitacional foram alvo de um estudo detalhado. Esse estudo incluiu a avaliação da estanquidade ao ar e a caracterização dos caudais efetivos de ventilação para diferentes condições de utilização.

De modo a poder caracterizar-se a fração estudada ao nível da estanquidade ao ar, determinou-se o número de renovações horárias para uma diferença de pressão entre o interior e o exterior de 50Pa ( $RPH_{50}$ ). A determinação do  $RPH_{50}$  consiste no estabelecimento de uma diferença de pressão controlada entre o interior e o exterior de uma fração em estudo e a consequente medição do caudal de ar resultante através de uma porta ventiladora (Figura 23). Esta informação é usada para calcular a "lei da permeabilidade" dada pela equação (10). O método da porta ventiladora implica a realização de ensaios de pressurização e despressurização, sendo o  $RPH_{50}$  o valor médio dos dois valores obtidos. Tipicamente, a determinação experimental da "lei da permeabilidade" é baseada em diversas medições entre a gama de  $\Delta P$  de 10 Pa a 50 Pa com incrementos de 10 Pa. Para este ensaio foram seguidas as normas EN-13829 (2001) e ISO-9972 (2006) e utilizado o equipamento Retrotec 1000 (Figura 23). O ensaio seguiu os princípios do Método A, previsto na EN 13829. Este método pretende traduzir o

comportamento do edifício em condições normais de uso, pelo que se fecham as aberturas na envolvente, mas não se procede à selagem de grelhas.

$$q_{env} = C_{env} \cdot (\Delta P)^n \quad (10)$$

Onde:

$q_{env}$  – caudal de ar infiltrado pela envolvente ( $m^3/h$ ),

$C_{env}$  – coeficiente de escoamento de ar ( $m^3/(h \cdot Pa)$ ),

$\Delta P$  – diferença da pressão parcial de vapor de água entre o interior e o exterior (Pa)

$n$  – coeficiente de turbulência do fluxo de ar (0,5 para fluxos de ar turbulentos e 1 para laminares).

Os resultados obtidos neste tipo de ensaio podem ser utilizados como base para estimar a ventilação resultante da infiltração de ar. No estudo de Kronvall e Persily (1984), foi divulgado o modelo de K-P a partir do qual é possível obter o valor de RPH através de  $RPH_{50}$  pela simples divisão deste último por 20. Apesar desta aproximação servir a maioria dos casos, Sherman (1987) criou um novo modelo para a determinação de RPH a partir do  $RPH_{50}$ , de acordo com a equação (11):

$$RPH = \frac{RPH_{50}}{N} \quad (11)$$

Onde:

$N$  – coeficiente dado pelo produto de quatro coeficientes relacionados com a zona climática, altura, proteção face ao vento e as infiltrações da habitação em estudo.

Tendo sido determinado o coeficiente climático para todas as regiões dos Estados Unidos. De acordo com Sherman (1987)  $N$  pode variar entre 10 e 30.

Devido ao facto da estimativa a partir do modelo K-P ter sido baseada para o modelo americano e não existirem estudo em Portugal para categorizar as regiões por fator climático, Silva (1991) realizou estudo em habitações portuguesas tendo concluído que o valor de  $N$  para a nossa realidade poderá ser obtido através da equação (12):

$$N = 21,9 + 0,71 \times ACH_{50} - 0,02 \times V_v^2 - 4,4 \times \theta - 1,7\Delta T \quad (12)$$

Onde:

$V_v$  – velocidade do vento ( $km/h$ )

$\Delta T$  – diferença de temperatura entre o interior e o exterior

$\theta$  - fator de exposição obtido pela fração da área das janelas e portas com a área da fachada exposta ao vento dominante

O valor  $N$  médio obtido pelo autor Silva (1991) foi de 13,7. Este valor foi obtido pela comparação entre o método da porta ventiladora com o método dos gases traçadores.

Os valores obtidos para a permeabilidade ao ar de uma habitação sob a forma de  $RPH_{50}$  podem ser relacionados com a estratégia de ventilação da habitação como sugerido por Liddament (1996) e citado por Hens (2011), de acordo com o apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 – Relação entre a estanquidade ao ar e a estratégia de ventilação.

RPH <sub>50</sub>	Estratégia de ventilação
RPH <sub>50</sub> > 8 h <sup>-1</sup>	Ventilação adventícia
4 h <sup>-1</sup> < RPH <sub>50</sub> < 8 h <sup>-1</sup>	Ventilação natural
1 h <sup>-1</sup> < RPH <sub>50</sub> < 5 h <sup>-1</sup>	Ventilação por extração mecânica
RPH <sub>50</sub> < 1 h <sup>-1</sup>	Ventilação balanceada com recuperação de calor

A habitação foi também analisada ao nível das renovações horárias nos compartimentos R1, W1 e LR. De acordo com a norma ASTM-E741 (2011), o cálculo das renovações por hora (RPH) pode ser efetuado de acordo com três métodos distintos em função dos gases traçadores:

- Decaimento da concentração – injeção inicial e mistura do gás traçador com o gás existente no compartimento alvo de estudo. Após a injeção de gás ser parada a concentração do gás ficar uniforme, começa a registar-se o decaimento do gás;
- Injeção constante – O gás traçador é continuamente injetado no compartimento alvo de estudo a um rácio constante durante todo o tempo de medição;
- Concentração contante – O gás traçador é injetado de forma controlada de modo a manter-se inalterada a concentração do mesmo na mistura do compartimento.

A bibliografia indica que o método mais consensual para o cálculo das RPH é o de decaimento da concentração do gás traçador (Chao, Wan, e Law 2004; Nikolopoulos et al. 2012; Cui et al. 2015). Este método baseia-se no facto de que, para a situação típica dentro de um compartimento, com temperatura e vento constantes (fluxo de ar quase constante), o balanço de massa do gás traçador pode ser expresso pela equação diferencial (13).

$$V \times \frac{dC(t)}{dt} = G + Q \times C_{ext} - Q \times C(t) \quad (13)$$

Onde:

V – volume do compartimento (m<sup>3</sup>)

C(t) – concentração interior do gás traçador no intervalo de tempo t (ppm)

t – tempo (s)

G – produção interior do gás traçador (cm<sup>3</sup>/s)

Q – trocas de ar entre o interior e o exterior (m<sup>3</sup>/s)

C<sub>ext</sub> – concentração exterior do gás traçador (ppm)

Para o cálculo das RPH, durante os períodos onde existe produção do gás traçador no compartimento em estudo, é usada a equação resultante da integrada da equação de balanço de massa, (equação (14)). Para o cálculo do RPH é necessário usar o métodos dos mínimos quadrados (Coley e Beisteiner 2002).

$$C(t) = C_{ext} + \frac{G}{Q} + \left( C_i - C_{ext} - \frac{G}{Q} \right) \cdot e^{-\frac{Q}{V}t} \quad (14)$$

Onde:

$C_i$  – concentração inicial do gás traçador (ppm)

$Q/V$  – RPH ( $s^{-1}$ )

Caso o gás traçador esteja naturalmente presente no ar mas não haja produção no momento da medição, existe uma simplificação da equação (14), sendo as RPH calculadas a partir da equação (15).

$$C(t) = C_{ext} + (C_i - C_{ext}) \cdot e^{-\frac{Q}{V}t} \quad (15)$$

Caso o gás traçador seja artificial e por isso não presente no ar dos compartimentos alvos de estudo, existe uma simplificação da equação (14), sendo as RPH calculadas a partir da equação (16).

$$C(t) = C_i \cdot e^{-\frac{Q}{V}t} \quad (16)$$

Diferentes tipos de gases podem ser usados como traçadores mas nenhum cumpre todos os requisitos (Cui et al. 2015). A Tabela 19, baseada no estudo de Cui et al. (2015), apresenta algumas vantagens e desvantagens dos gases comumente usados como traçadores.

Tabela 19 – Características de gases traçadores [adaptado de (Cui et al. 2015)].

Gás traçador	Densidade comparada com o ar	Vantagens	Desvantagens
Crípton-85 $^{85}\text{Kr}$	2,93	Concentrações no ar de 1ppm	Pesado Caro
Óxido Nitroso $\text{N}_2\text{O}$	1,53	Barato Densidade aproximada do ar.	Interferência com $\text{H}_2\text{O}$ e $\text{CO}_2$
Hexafluoreto de Enxofre $\text{SF}_6$	5,11	Não presente no ar Sem impacto para os seres humanos	Muito pesado Caro Impacto elevado no efeito de estufa
Dióxido de Carbono $\text{CO}_2$	1,53	Facilmente disponível Muito barato Limite máximo de deteção muito elevado	Existe no ar

O método dos gases traçadores baseiam-se nalgumas suposições destacando-se a consideração dos gases no espaço medido como um único gás bem misturado (Sherman e Dickertoff 1989). Contudo, devido ao facto de alguns gases traçadores terem densidades diferentes da do ar, esta premissa só poderá ser

alcançada caso exista uma forma de misturar o ar. O SF<sub>6</sub> é um gás muito usado neste tipo de estudos (Sherman 1990), contudo o facto do SF<sub>6</sub> ser um gás 5,11 vezes mais denso que o ar, utilizam-se ventoinhas para evitar a estratificação do ar (Dorizas et al. 2015; Sherman e Dickerhoff 1989).

Os estudos realizados comparando diferentes gases traçadores para se obter as RPH indicam que o uso de CO<sub>2</sub> é uma boa opção, principalmente tendo em conta o custo dos equipamentos de deteção, o custo do gás e a precisão dos resultados obtidos (Fortmann, Nagda, e Rector 1990; Coley e Beisteiner 2002; Guo L e O. 2007; Cui et al. 2015). O uso de equipamentos portáteis de medição de CO<sub>2</sub> do tipo NDIR (non dispersive infrared) foi usado com sucesso em diferentes estudos (Coley e Beisteiner 2002; Guo L e O. 2007; Cui et al. 2015).

Existe alguma heterogeneidade nos valores considerados pela bibliografia para a C<sub>ext</sub> do CO<sub>2</sub>, uma vez que o mesmo depende dos níveis de poluição de cada local. Os autores Almeida e de Freitas (2014) consideraram um valor de 450 ppm, Lu, Knuutila, et al. (2010) usaram o valor de 400 ppm, Dias Carrilho et al. (2015) utilizaram o valor 385 ppm. A nível normativo, existem referências para o valor da concentração de CO<sub>2</sub> exterior de 350 ppm na norma ASTM-D6245 (2012) e de 320 ppm na norma ASTM-E741 (2011).

No caso de se usar com gás traçador o CO<sub>2</sub> metabólico é necessário estimar a produção de CO<sub>2</sub>. De acordo com Coley e Beisteiner (2002), a equação (17) é utilizada para a produção de CO<sub>2</sub> de um adulto do sexo feminino e a equação (18) do sexo masculino. A equação (19) diz respeito ao coeficiente da produção de CO<sub>2</sub> e a equação (20) é referente à área de Du Bois proposta por Du Bois e Du Bois (1916).

$$G_{CO_2} = 0,9 \times k \quad (17)$$

Onde:

$G_{CO_2}$  – produção interior de CO<sub>2</sub> (l/h)

$$G_{CO_2} = 1 \times k \quad (18)$$

$$k = 0,148 \times \gamma \times m \times \left( \frac{273 + T}{273} \right) \quad (19)$$

Onde:

$\gamma$  – superfície do corpo humano (m<sup>2</sup>);

$m$  - taxa de metabolismo (W/m<sup>2</sup>)

$T$  – temperatura do compartimento em questão (°C).

$$\gamma = 0,202 \times w^{0,425} \times h^{0,725} \quad (20)$$

Onde:

$w$  – peso do adulto (kg);

$h$  – altura (m).

As renovações horárias foram obtidas para as principais configurações existentes na habitação em condições de uso, tendo sido utilizado o equipamento foto acústico de infravermelhos apresentado na Figura 24, para se obter o decaimento das concentrações do gás traçador através da equação (16).

Relativamente aos valores de renovações horárias do ar regulamentares, a regulamentação nacional REH Decreto-Lei n.º 118/2013 (2013) indica valores de 0,4 e 0,6 RPH, a norma ASHRAE-62.1 (2007) indica para o setor residencial o valor recomendável de 2,5 l/s/pessoa e norma ASHRAE-62.2 (2016) o valor de 76,5 m<sup>3</sup>/h como recomendável para toda a casa em questão.

### 3.7.2. RESULTADOS

Os resultados obtidos da permeabilidade ao ar e das renovações do ar por hora estão apresentados na Tabela 20 e os gráficos que deram origem aos valores de RPH apresentados podem ser visualizados no ANEXO II.

O valor de RPH<sub>50</sub> de 3,17 h<sup>-1</sup> obtido encontra-se no intervalo definido por Liddament (1996) (Tabela 18) para a relação entre a permeabilidade dos edifícios e a sua estratégia de ventilação (ventilação por extração mecânica no caso em estudo). Através deste valor e utilizando a equação (11) que relaciona o valor de RPH<sub>50</sub> com as RPH, e utilizando o N de 20, proposto por Kronvall e Persily (1984), obtém-se um RPH de 0,16 h<sup>-1</sup>. Este valor é idêntico aos valores obtidos pelo método dos gases traçadores para as RPH quando a VMC estava desligada (0,11 h<sup>-1</sup> para o compartimento LR, 0,13 h<sup>-1</sup> para o compartimento R1 e 0,15 h<sup>-1</sup> para o compartimento W1). Utilizando como valor de N o proposto por Silva (1991) para o caso português (13,7) o valor de RPH é de 0,23 h<sup>-1</sup>. Este valor é superior aos encontrados pelo método dos gases traçadores. Contudo esta situação pode ser explicada pelo facto do estudo de Silva (1991) ter sido efetuado em habitações unifamiliares isoladas, tipicamente menos estanques que as inseridas em edifícios multifamiliares.

O valor de RPH<sub>50</sub> obtido está na ordem de grandeza dos valores mais baixos obtidos no estudo de Ramos et al. (2015) referente a 49 apartamentos de 2 bairros sociais no Porto. No mesmo sentido, o valor de 3,17 h<sup>-1</sup> de RPH<sub>50</sub> também está próximo dos valores mais baixos obtidos por Pinto, Viegas, e de Freitas (2011) referente ao estudo em 5 apartamentos de um edifício multifamiliar localizado no Porto. De referir que em ambos os estudos citados (Pinto, Viegas, e de Freitas 2011; Ramos et al. 2015) existiam entradas de ar autorreguláveis e caixilharias simples, ao contrário do caso de estudo, como descrito no capítulo 3.2.

Relativamente aos valores de RPH encontrados, estes são particularmente baixos quando o sistema de VMC está desligado (entre 0,11 h<sup>-1</sup> e 0,15 h<sup>-1</sup>). Quando a VMC está ligada estes valores aumentam consideravelmente para: 0,30 h<sup>-1</sup>; 0,78 h<sup>-1</sup>; e 4,21 h<sup>-1</sup>, nos períodos da 0:00 às 3:00, das 3:00 às 6:00 e das 6:00 às 9:00, respetivamente. De acordo com a norma NP-1037-2 (2009) as RPH e o caudal mínimo dos compartimentos de serviço como quartos, salas e instalações sanitárias (R1, LR e W1, no caso em estudo, respetivamente) são dados pelas expressões (21), (22) e (23), respetivamente. O valor do cálculo das RPH e caudal mínimo (Q<sub>min</sub>) pode ser observado na Tabela 21. Deste modo, considera-se que apenas o compartimento W1 cumpre estes critérios de ventilação sem ser preciso abrir-se as janelas. No compartimento R1, o valor de 1 h<sup>-1</sup> apenas é superado com a abertura de janelas atingindo-se o valor de 3,46 h<sup>-1</sup>. No compartimento LR o valor de 1,2 h<sup>-1</sup> é superado com a abertura de janelas, atingindo-se o valor de 3,26 h<sup>-1</sup>.

Tabela 20 – Características de ventilação e infiltração dos compartimentos principais com ocupação diária.

Parâmetro	Valor
RPH <sub>50</sub> total	3,17 h <sup>-1</sup>
R1 – RPH – VMC ligada	0,78 h <sup>-1</sup>
R1 – RPH – VMC desligada	0,13 h <sup>-1</sup>
R1 – RPH – janela aberta	3,46 h <sup>-1</sup>
W1 – RPH – VMC ligada	4,21 h <sup>-1</sup>
W1 – RPH – VMC desligada	0,15 h <sup>-1</sup>
W1 – RPH – janela aberta	4,45 h <sup>-1</sup>
LR – RPH – VMC desligada	0,11 h <sup>-1</sup>
LR – RPH – VMC ligada	0,30 h <sup>-1</sup>
LR – RPH – janela aberta	3,26 h <sup>-1</sup>
LR – RPH – porta interior aberta	1,53 h <sup>-1</sup>

$$Q_{quarto} = \text{Max.} \left( \frac{V}{3,6}; 5 \times N_{ocup} \right) \quad (21)$$

Onde:

$Q_{quarto}$  – caudal de ventilação mínimo recomendado para o compartimento R1 (l/s)

V – volume do compartimento (m<sup>3</sup>)

$N_{ocup}$  – n.º de ocupantes que é 2 no caso de estudo

$$Q_{sala} = \text{Max.} \left( \frac{V}{3,6}; 6 \times N_{ocup} \right) \quad (22)$$

Onde:

$Q_{sala}$  – caudal de ventilação mínimo recomendado para o compartimento LR (l/s)

$$Q_{instalação\ sanitária} = \text{Max.} \left( 4 \times \frac{V}{3,6}; 12,5 \right), \text{ limitado a 25} \quad (23)$$

Onde:

$Q_{instalação\ sanitária}$  – caudal de ventilação mínimo recomendado para o compartimento W1 (l/s)

Tabela 21 – Caudais de ventilação e RPH mínimas para os compartimentos R1, LR e W1 (NP-1037-2 2009).

Compartimento	$Q_{min}$ (l/s)	RPH (h <sup>-1</sup> )
R1	13	1
LR	12	1,2
W1	14	4



### 3.8. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS INTERIORES

Os valores obtidos durante os 2 anos de monitorização ao nível da temperatura, humidade relativa, pressão parcial de vapor de água e concentração de dióxido de carbono estão apresentados sob a forma de séries temporais da Figura 55 à Figura 57. Na Figura 55 é possível observar que existe um claro desfasamento entre o grupo das temperaturas dos compartimentos da fração em estudo e as temperaturas exteriores. Foi quantificado que o desfasamento entre a temperatura interior e a exterior ( $\Delta T$ ) é em média de 5,6°C. O compartimento mais quente está orientado a sul e corresponde ao único compartimento sem persiana, a lavandaria (L). Este compartimento teve uma temperatura média de 23°C ao longo dos 2 anos de monitorização. Foram 2 os compartimentos com a média de temperatura mais baixa, o quarto sem ocupação orientado a norte (R2) e a instalação sanitária com pouca utilização (W2) ambos com valores de 20,8°C. No compartimento anexo ao R2, a LR, obteve-se uma temperatura média de 22,1°C, tendo assim uma média cerca de 1,2°C acima do compartimento adjacente. Estas diferenças devem-se essencialmente à ação dos ocupantes de ligar o aquecimento uma vez que no verão as temperaturas médias registadas são muito similares. Os compartimentos interiores correspondentes aos corredores tiveram valores médios de 21,7°C e 21,8°C. A sala de jantar, apesar de ter uma ocupação muito esporádica, tem ganhos solares elevados devido aos 4 envidraçados orientados a sul, tendo uma temperatura média de 21,7°C. O quarto principal (R1) e único com ocupação noturna e ação diária de abertura das janelas matinal, obteve uma temperatura média de 21,3°C. O percentil 95 ( $P_{95}$ ) mais elevado foi obtido na lavandaria, L, tendo-se atingido 28,3°C, seguindo-se a cozinha, K, e a sala de jantar, DR, com 27,3°C. O compartimento com menor percentil 5 ( $P_5$ ) foi a instalação sanitária sem ocupação (W2) com 16,4°C seguindo-se a sala de jantar (DR) e o quarto sem ocupação (R2) com 16,5°C e 16,9°C, respetivamente. O quarto com ocupação noturna (R1) teve um  $P_5$  de 17,2°C e a sala de estar (LR) 18,6°C.

Ao nível da humidade relativa, o compartimento com uma média mais elevada é a instalação sanitária com uso diário (W1) com 64,1%. O compartimento com ocupação noturna (R1) teve uma média de 59,9% de humidade relativa, pouco superior ao compartimento sem ocupação (DR) com 56,4% e inferior ao quarto sem ocupação, mas orientado a norte (R2) com uma média de 60,4%. A instalação sanitária W1 teve um  $P_{95}$  de 77,8% e um  $P_5$  de 50,7% enquanto a instalação sanitária adjacente, mas sem ocupação (W2) teve um  $P_{95}$  de 71,8% e um  $P_5$  de 49,1%. O quarto com ocupação teve um  $P_{95}$  de 71,7% e um  $P_5$  de 47,5% enquanto o quarto sem ocupação (R2) teve valores muito similares. O compartimento com um  $P_{95}$  e  $P_5$  mais baixos foi a lavandaria com 68,1% e 38,3%, respetivamente. Este compartimento possui aberturas de ar permanentes para o exterior.

Relativamente à concentração de  $CO_2$ , o quarto com ocupação noturna (R1) apresentou um valor médio de 852 ppm, um  $P_{95}$  de 1717 ppm e um  $P_5$  de 389 ppm. Relativamente à instalação sanitária pertencente ao quarto principal (W1) obteve-se um valor médio das concentrações de  $CO_2$  de 667 ppm, um  $P_{95}$  de 1211 ppm e um  $P_5$  de 384 ppm. É possível observar que o valor máximo recomendado (Nielsen e Drivsholm 2010; Laverge et al. 2011; ASTM-D6245 2012; Cho et al. 2015; Sharpe et al. 2015; Ye et al. 2017) de 1000 ppm é ultrapassado em todos os dias com ocupação.

Nos gráficos apresentados da Figura 58 à Figura 60, é possível analisar o conforto térmico, de acordo com a norma EN-15251 (2007), nos três quartos do caso de estudo com diferentes ocupações: compartimento com ocupação noturna (R1); compartimento sem ocupação (R2); e compartimento com ocupação maioritária diurna e com aquecimento (LR). Nos gráficos da Figura 58 à Figura 60 apresentam-se as médias horárias dos dois anos monitorizados. Relativamente aos limites inferiores de conforto, o compartimento LR foi aquele que teve menos horas abaixo da categoria III indicada na norma EN-15251 (2007) e o compartimento R2 aquele que apresentou mais horas com temperatura abaixo desse limite. Atendendo aos limites superiores, em nenhuma hora foi ultrapassado o limite estipulado para a categoria III na norma EN-15251 (2007). De modo a comparar de forma quantitativa

os valores de conforto, foram contabilizadas as diferenças de temperatura horárias para a temperatura limite de conforto de 18°C de acordo com a equação (24), apresentando-se os valores para os três compartimentos na Tabela 22. No compartimento aquecido (LR) apenas foram registadas 116,5 horas com temperaturas inferiores a 18°C, sendo que a diferença média dessas temperaturas para os 18°C é de apenas 0,40°C ± 0,32°C. No compartimento com ocupação noturna (R1) foram registadas 1310 horas com temperaturas inferiores a 18°C, sendo a diferença média dessas temperaturas para os 18°C de 0,66 ± 0,47°C. Contudo, se forem apenas analisados os períodos com ocupação, o n.º de horas com temperaturas inferiores a 18°C desce para 511 (6% do total anual) e a diferença para os 18°C mantém-se nos 0,66°C ± 0,47°C.

$$\text{se } T_{mhi} < 18^{\circ}\text{C}, \quad Desc. = \sum (18 - T_{mhi}) \quad (24)$$

Onde:

$T_{mhi}$  – temperatura média horária interior (°C)

Desc. – somatório dos graus hora de desconforto nos meses de arrefecimento de um ano completo (°C.hora)

Tabela 22 – Comparação do conforto térmico nos três compartimentos.

Compartimento	Desc. (°C.hora)	N.º de horas com $T_{mhi} < 18^{\circ}\text{C}$ (h)	% de horas com $T_{mhi} < 18^{\circ}\text{C}$	Média do Desc. (°C)
R1	866/353*	1310/511*	15%/6%*	0,66 ± 0,47
R2	934	1944	22%	0,48 ± 0,52
LR	47	116,5	1%	0,40 ± 0,32

\* considerando apenas os períodos com ocupação (noturna)

Tendo em conta os limites impostos pela legislação nacional (Decreto-Lei n.º 118/2013), o limite inferior de 18°C corresponde sensivelmente ao observado para a categoria III da norma EN-15251 (2007). Contudo, relativamente ao limite superior de 25°C do (Decreto-Lei n.º 118/2013), este é muito mais restritivo que os limites superiores indicados pela norma EN-15251 (2007), sendo este limite de conforto ultrapassado em diversos instantes.

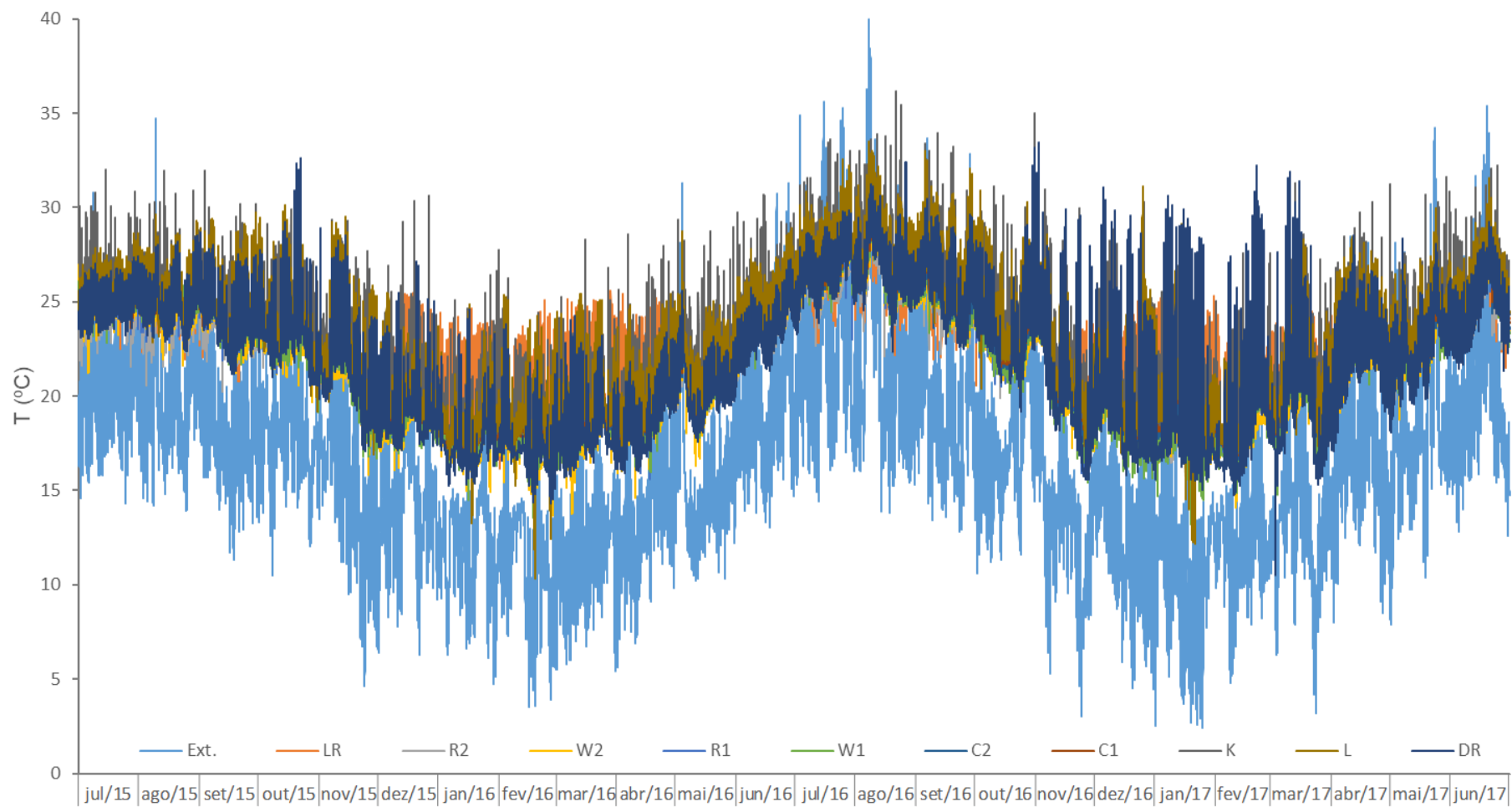


Figura 55 – Evolução da temperatura exterior e interior (média dos sensores por compartimento) do período de 1 de julho de 2015 a 30 de junho de 2017.

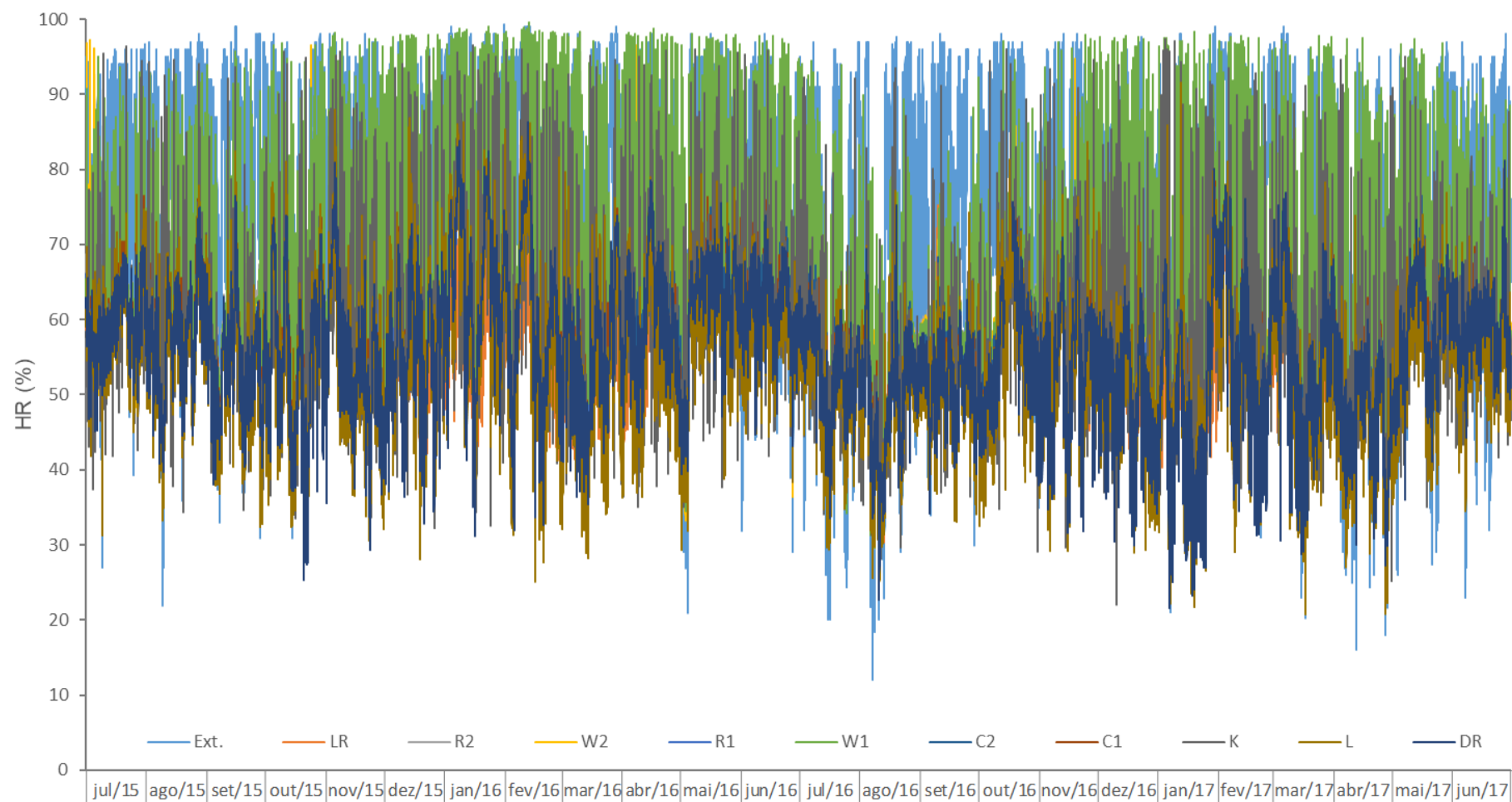


Figura 56 – Evolução da humidade relativa exterior e interior (média dos sensores por compartimento) do período de 1 de julho de 2015 a 30 de junho de 2017.

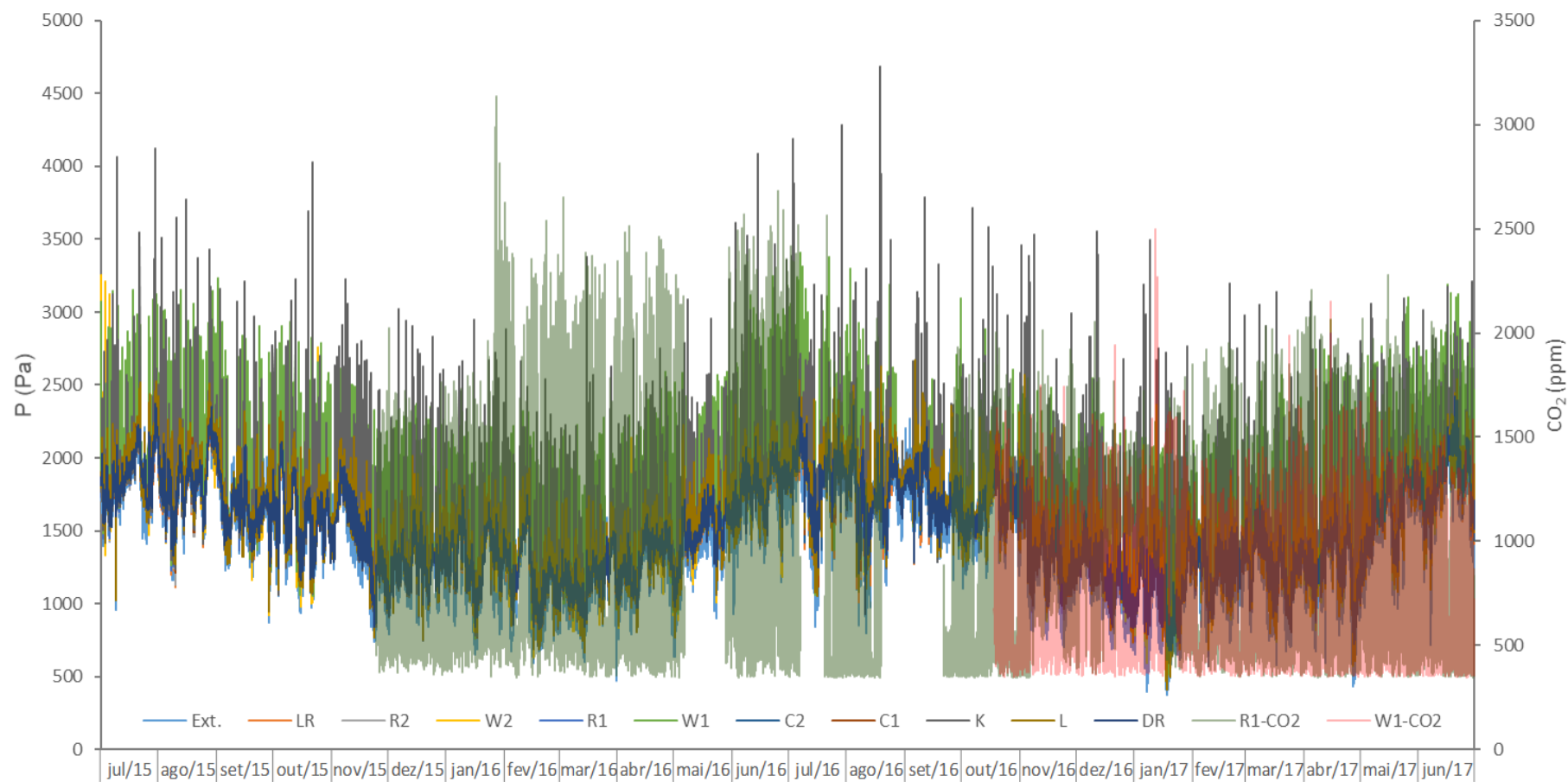


Figura 57 – Evolução da pressão parcial de vapor de água e concentração de dióxido de carbono (média dos sensores por compartimento) do período de 1 de julho de 2015 a 30 de junho de 2017.

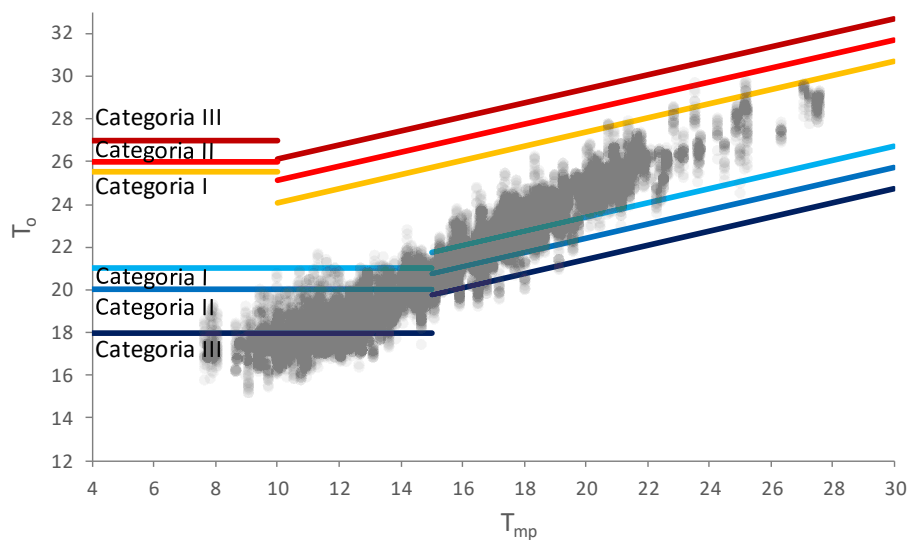


Figura 58 – Análise do conforto térmico no compartimento R1, norma EN-15251 (2007).

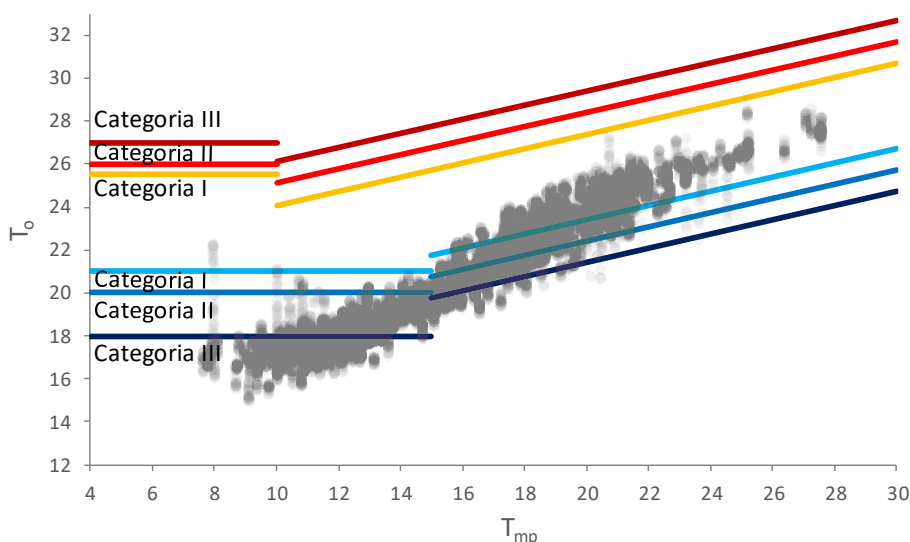


Figura 59 – Análise do conforto térmico no compartimento R2, norma EN-15251 (2007).

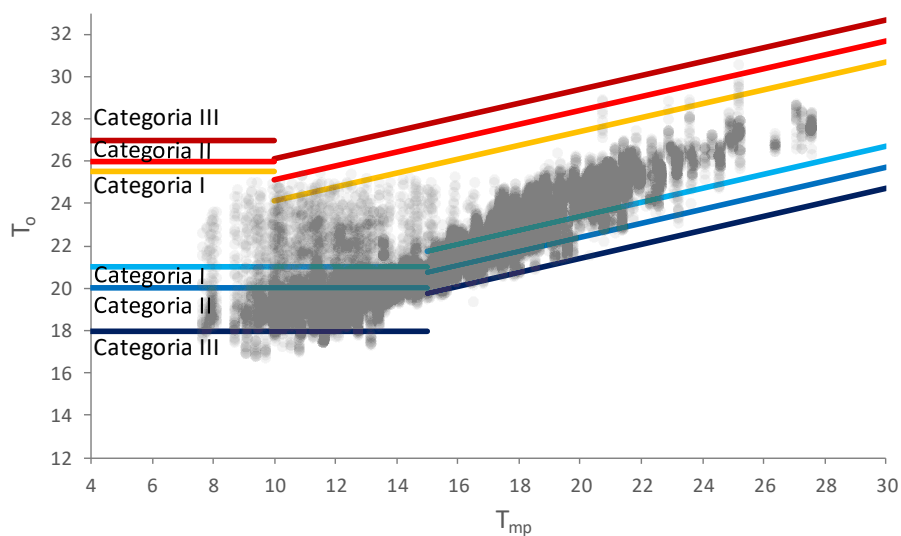


Figura 60 – Análise do conforto térmico no compartimento LR, norma EN-15251 (2007).

## 4. IMPACTOS DAS AÇÕES DOS OCUPANTES

### 4.1. ESTRATÉGIA DA ANÁLISE DOS IMPACTOS DOS OCUPANTES

A revisão da literatura evidenciou que existe um desfasamento entre o desempenho do edifício (BP) previsto em fase de projeto e o desempenho na fase pós-ocupação. Esta incongruência é devido a diferentes motivos, podendo identificar-se duas etapas que estão na sua origem (Figura 6). Há um desfasamento entre os cálculos efetuados pelos projetistas e o medido após a construção e outro desfasamento considerando as condições de uso e os impactos das ações dos ocupantes. Por outro lado, os sistemas de domótica mais avançados sob a forma de BAS, EMS ou BMS, funcionam aprendendo com os ocupantes dos edifícios reagindo às suas ações ou antecipando-as de modo a corrigir os impactos negativos dos ocupantes. Tendo em conta estas duas possíveis aplicações práticas, justifica-se o estudo dos impactos dos ocupantes dos edifícios residenciais, com foco no desenvolvimento de um processo de análise utilizável pelos sistemas de domótica.

Neste capítulo pretende-se avaliar os impactos que as ações a seguir indicadas provocaram no ambiente interior ao nível da temperatura, pressão parcial de vapor de água, concentração de dióxido de carbono, renovações horárias e consumo de energia:

- Abertura das janelas (R1) – ação A1;
- Abertura das janelas (W1) – ação A2;
- Ato de tomar banho (W1) – ação A3;
- Ato de cozinhar (K) – ação A4;
- Ato de aquecer (LR) – ação A5;
- Ato de regular a abertura da grelha de ventilação (W1) – ação A6.

No presente capítulo foram utilizados os sensores indicados na Figura 61. Complementarmente, foram também usados dados da estação meteorológica do Departamento de Proteção Civil da Câmara Municipal do Porto, descrita no subcapítulo 3.6. Tendo por base os parâmetros monitorizados de temperatura (T) e humidade relativa (HR), foram calculadas as pressões de vapor de água (P) e a diferença de pressão entre o interior e o exterior ( $\Delta P$ ) assim como as renovações por hora (RPH) tendo por base os registos de CO<sub>2</sub>.

No período de monitorização considerado, foi solicitado aos ocupantes o preenchimento de registos diários onde se pediu a indicação dos momentos de ocorrência das ações acima indicadas.

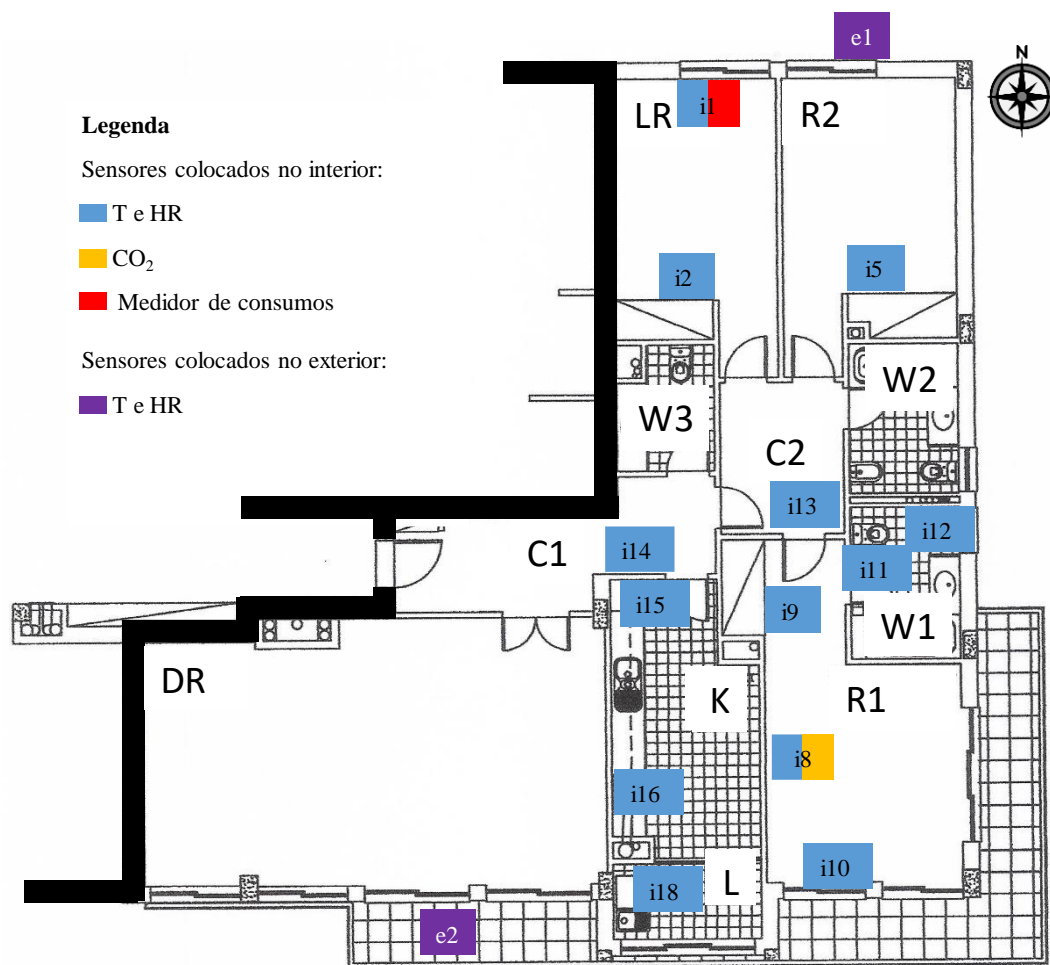


Figura 61 – Sensores utilizados no estudo do capítulo 4.

Apresenta-se na Figura 62 e na Figura 63 os box plot da temperatura, pressão parcial de vapor de água e concentração de dióxido de carbono dos dados considerados neste capítulo. Através da sua análise observa-se o seguinte:

- Existe uma diferença de temperatura de cerca de 4°C entre os sensores extremos do interior da fração em estudo. A diferença entre a média das temperaturas interiores e a temperatura exterior aproxima-se dos 6°C. Foi também encontrada uma grande variação dos valores registados em todos os sensores, sendo a variação mínima de cerca de 10°C e a máxima de cerca de 25°C. As maiores diferenças ocorrem nos sensores próximos das janelas onde existe uma abertura pontual (sensor 10) e com aberturas de ar permanentes (sensor 18), no sensor localizado próximo do aquecedor (sensor 1) e no sensor próximo do fogão (sensor 16). Existem diferenças nos sensores localizados no interior do mesmo compartimento.
- Os valores da pressão de vapor de água são idênticos em todas as localizações ao nível das medianas, existindo grandes diferenças nos pontos extremos;
- A mediana da concentração de CO<sub>2</sub> ao longo das 24 h apresenta valores inferiores perto dos 750 ppm. Contudo, os valores atípicos superiores no compartimento onde há ocupação noturna (R1) são muito elevados, ultrapassando os 3000 ppm.



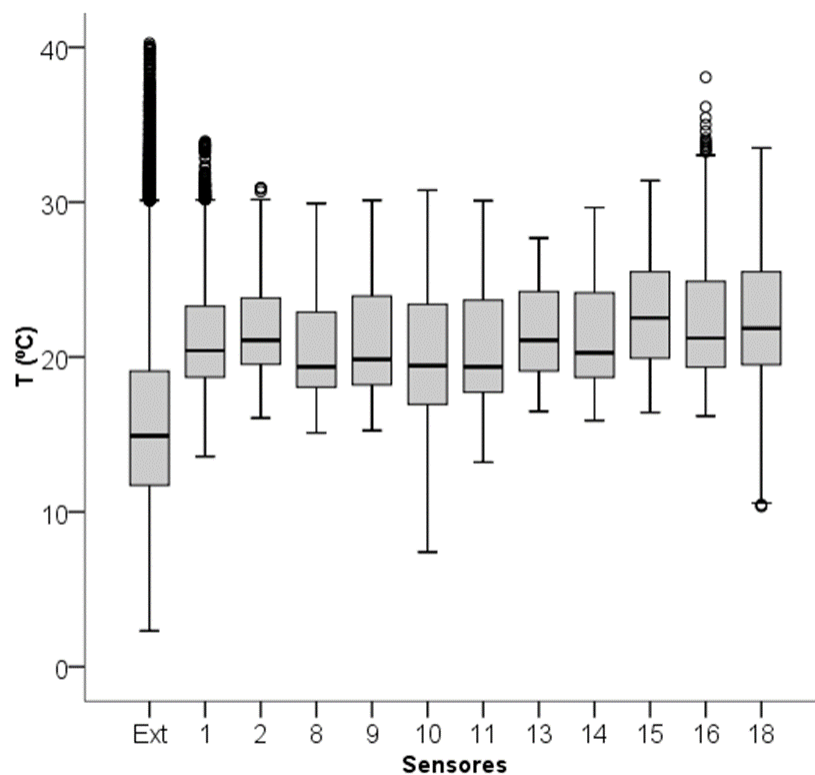


Figura 62 – Box-plots do parâmetro de temperatura obtido em cada sensor.

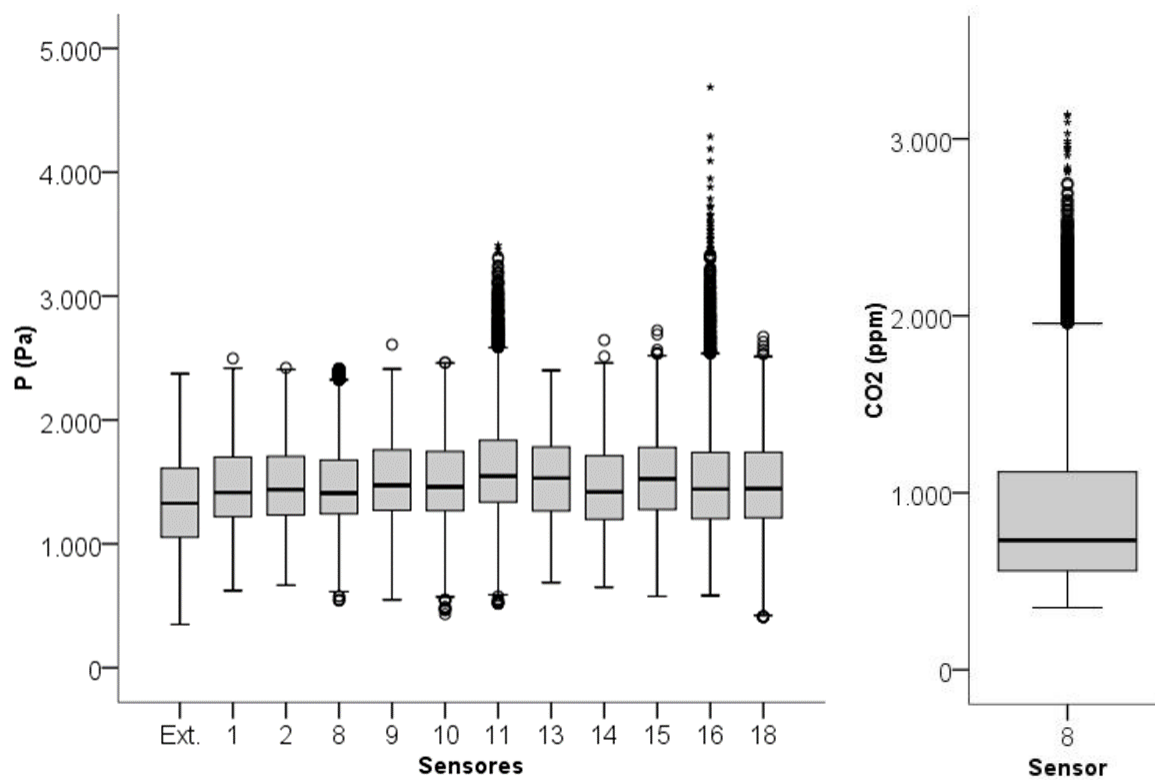


Figura 63 – Box-plots dos parâmetros de pressão parcial de vapor de água (esquerda) e concentração de  $\text{CO}_2$  (direita) obtido em cada sensor.

## 4.2. METODOLOGIA DE DETECÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS

Os dados monitorizados depois da ocorrência do evento foram usados para identificar e quantificar os impactos de cada ação (Figura 8).

Os parâmetros avaliados como impactos das ações indicadas estão apresentados na Figura 64 assim como a metodologia seguida. Deste modo, criou-se uma base de dados com a ocorrência de ações dos ocupantes assim como uma base de dados com os parâmetros ambientais medidos pelo sistema de monitorização ao nível da temperatura, humidade relativa e concentração de dióxido de carbono e dos parâmetros calculados como a pressão de vapor, o excesso de pressão e as renovações horárias. Através da análise dos instantes após a ocorrência das ações foi possível estabelecer uma correlação entre as ações e as variações que estas provocam em alguns parâmetros através do coeficiente de Spearman. Estabelecida esta relação, foi possível identificar os impactos das ações dos ocupantes ao nível dos seguintes parâmetros: T, P, CO<sub>2</sub>, RPH e energia (E), em função do tipo de ação analisada (Figura 64). Posteriormente quantificaram-se esses impactos e criou-se um perfil diário para cada parâmetro e por compartimento.

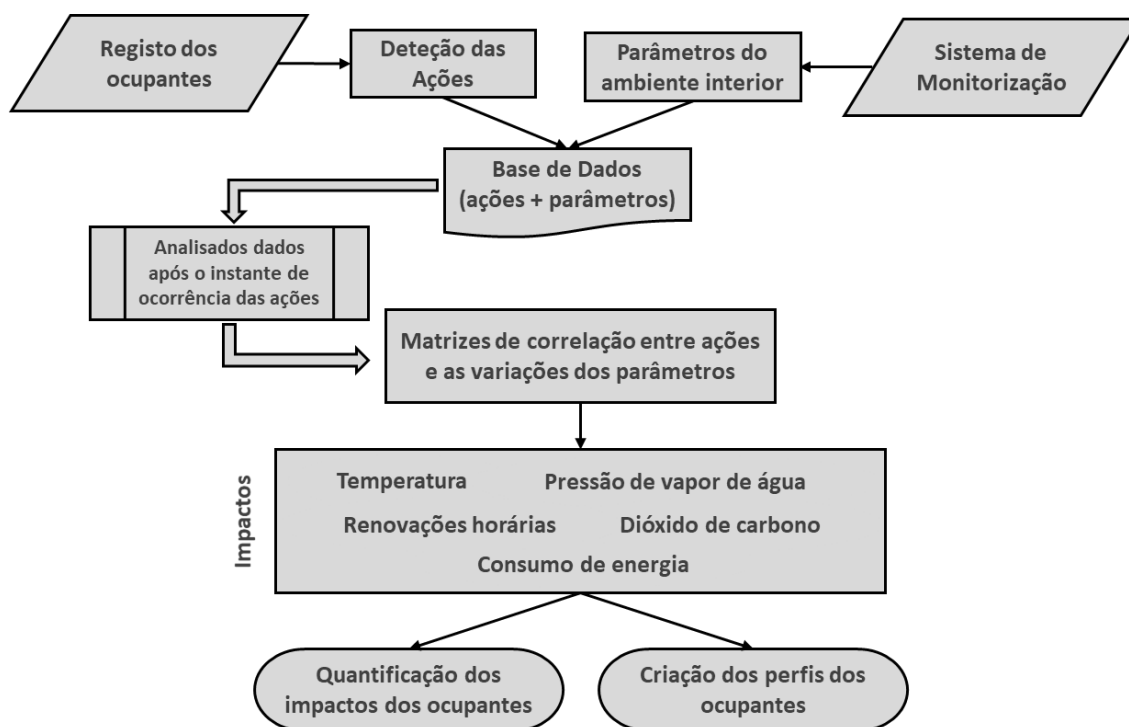


Figura 64 – Metodologia utilizada no estudo para a deteção dos impactos dos ocupantes.

Como referido, o estudo dos ocupantes será avaliado tendo por base as variações que as ações dos ocupantes provocam nos parâmetros medido/calculados. Deste modo, criaram-se três novos parâmetros: a diferença da temperatura interior ( $\Delta T_i$ ), a diferença da pressão de vapor interior ( $\Delta P_i$ ) e a diferença da concentração de CO<sub>2</sub> interior ( $\Delta CO_{2i}$ ). Estes parâmetros variação foram obtidos através das equações (25), (26) e (27), respetivamente:

$$\Delta T_i = T_{(t)} - T_{(t-1)} \quad (25)$$

Onde:

T – temperatura interior por sensor (°C)

t – instante de registo de dados

t-1 – instante de registo de dados anterior

$$\Delta P_i = P_{(t)} - P_{(t-1)} \quad (26)$$

Onde:

P – pressão parcial de vapor de água interior por sensor (Pa)

$$\Delta CO_{2i} = CO_{2(t)} - CO_{2(t-1)} \quad (27)$$

Onde:

CO<sub>2</sub> – concentração de dióxido de carbono interior por sensor (ppm)

Relativamente ao cálculo das renovações por hora, no presente caso, como se utilizou o CO<sub>2</sub> como gás traçador, para o cálculo de RPH utilizou-se a equação (14) nos casos em que havia produção de CO<sub>2</sub> (ocupação noturna prolongada) e a equação (15) nos casos onde não havia produção de CO<sub>2</sub>. Durante os períodos onde existiu ocupação, foi usado o métodos dos mínimos quadrados (Coley e Beisteiner 2002). Nos períodos onde não existe ocupação foi usado o método da regressão indicado na norma (ASTM-E741 2011). Este método consiste da criação de um gráfico de distribuição apresentando o logaritmo neperiano da concentração de CO<sub>2</sub> em função do tempo - ln C(t).

No cálculo das RPH, foram respeitados os tempos mínimos de medição em função dos valores de RPH obtidos, indicados na norma ASTM-E741 (2011). A produção de CO<sub>2</sub> foi baseada na formulação dos autores Coley e Beisteiner (2002) e apresentada no subcapítulo 3.7.1, tendo-se obtido uma produção noturna de CO<sub>2</sub> de 5,97 cm<sup>3</sup>/s (um homem e uma mulher a dormir).

O valor usado para a concentração de CO<sub>2</sub> exterior foi o indicado na norma ASTM-D6245 (2012), 350 ppm. Este valor foi validado no local através da monitorização no exterior da fração habitacional em estudo em dois períodos distintos num total de 12 dias, tendo-se obtido uma concentração média de 348 ppm.

Mais detalhe sobre o cálculo das renovações horárias a partir das concentrações de CO<sub>2</sub> medidas pode ser encontrado no subcapítulo 3.7.1.

### 4.3. TRATAMENTO DE DADOS

Os resultados deste estudo e a sua discussão foram organizados em 2 subcapítulos:

- Impactos das ações;
- Perfil dos ocupantes.

No primeiro subcapítulo é explicado o processo de identificação dos impactos de cada ação nos compartimentos estudados, de acordo com a metodologia definida. São também quantificados os impactos de cada ação nos sensores que conseguem detetar esses impactos e comparados graficamente de modo a poder-se perceber onde é que a ação perde influência.

No segundo subcapítulo são criados perfis diários dos parâmetros monitorizados/calculados dos dias onde existe ocupação e nos dias sem ocupação. São também estudadas várias estratégias de ventilação, comparando-se o perfil diário de concentração de CO<sub>2</sub> resultante.

#### 4.3.1. IMPACTOS DAS AÇÕES

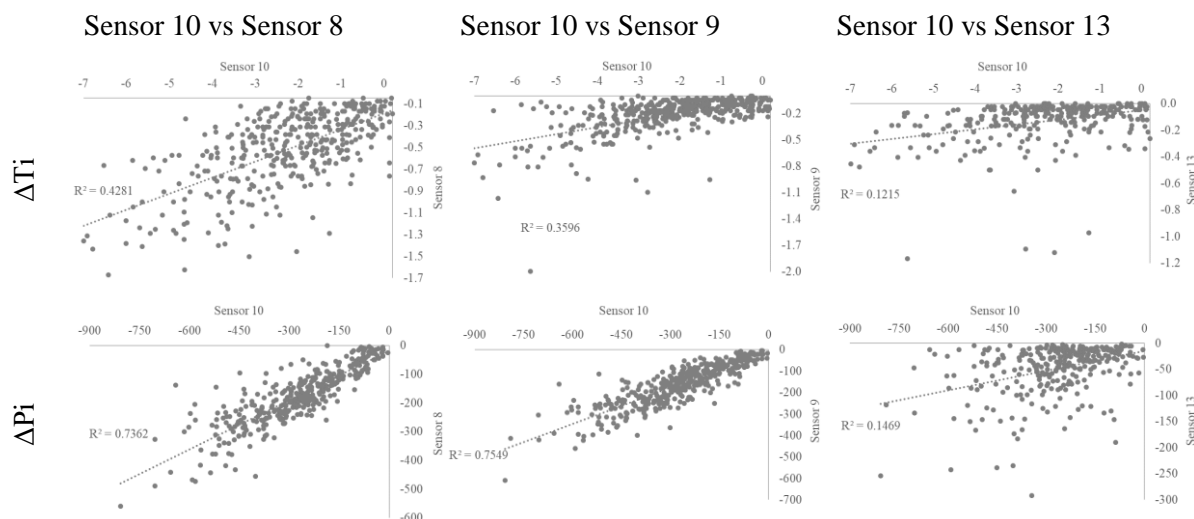
##### Abertura das janelas – R1 – Ação A1

A análise de correlação entre a ação A1 e os seus hipotéticos impactos na temperatura, pressão parcial de vapor de água e concentração de CO<sub>2</sub> nos sensores localizados nas posições 10, 8, 9 e 13 foi avaliada a partir dos coeficientes de Spearman. Foram encontradas correlações com significância estatística entre a abertura da janela e os seguintes parâmetros:

- $\Delta T_i$  nos sensores 10, 8, 9 e 13;
- $\Delta P_i$  nos sensores 10, 8, 9 e 13;
- $\Delta CO_{2i}$  no sensor 8.

As correlações com o sensor 13 apenas apresentaram significância estatística no nível 0,05 (bilateral) enquanto com os restantes sensores há significância estatística ao nível 0,01 (bilateral). Os coeficientes de correlação encontrados para os parâmetros de  $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$  do sensor na posição 9 são inferiores aos sensores das posições 10 e 8. Contudo, devido ao facto de não se terem obtidos coeficientes de correlação considerados elevados de acordo com Hinkle, Wiersma, e Jurs (2003) (superiores a 0,7), esta correlação pode não implicar uma relação direta de ação/efeito, podendo tratar-se apenas de uma coincidência temporal. Deste modo, reduziu-se a incerteza correlacionando os sensores entre si face às variações registadas nos parâmetros de T e P ( $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$ , respetivamente). Encontrou-se uma tendência com aproximação linear, sendo o valor dos impactos menor à medida que o sensor se afasta da janela. Na Tabela 23 pode-se observar esta correlação e o seu R<sup>2</sup> com uma regressão linear. Os valores apresentados na Tabela 23 indiciam a existência de uma tendência clara dos parâmetros de  $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$ , correlacionando os sensores apresentados.

Tabela 23 – Gráficos de dispersão entre os valores dos parâmetros  $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$  dos impactos da abertura das janelas na R1.



Relativamente à quantificação dos impactos da abertura das janelas no compartimento R1, pode-se observar na Figura 65 os parâmetros cuja correlação com a ação A1 foi identificada. Os valores

apresentados correspondem às diferenças de T e P ( $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$ , respetivamente) nos sensores 10, 8 e 9 registadas desde a ocorrência da ação até à estabilização dos parâmetros por influência desta ação. Pode-se observar que o sensor 10 é o que mais se altera em valor absoluto (Figura 65). Este sensor está localizado na ombreira da janela onde a ação é efetuada. O sensor 8 é o segundo a sofrer maior influência da ação de abertura de janelas, encontrando-se no mesmo compartimento da ação, mas a cerca de 2 m de distância da janela. Assim, ao nível da temperatura, os impactos são cerca 10 vezes inferiores no sensor 8 face aos registados no sensor 10. No que respeita à pressão parcial de vapor de água, as diferenças dos impactos registados nos sensores 10 e 8 são menos notórias, sendo na mesma ordem de grandeza como se pode observar na Figura 65. É observável que os impactos vão diminuindo à medida que o sensor se afasta das janelas abertas sendo que o sensor fora do compartimento (sensor 13) já não regista os impactos desta ação. A representação gráfica do descrito está apresentada na Figura 66 com a inclusão dos percentis 5, 50 e 95 ( $P_5$ ,  $P_{50}$  e  $P_{95}$ , respetivamente) das variações registadas, por influência da ação.

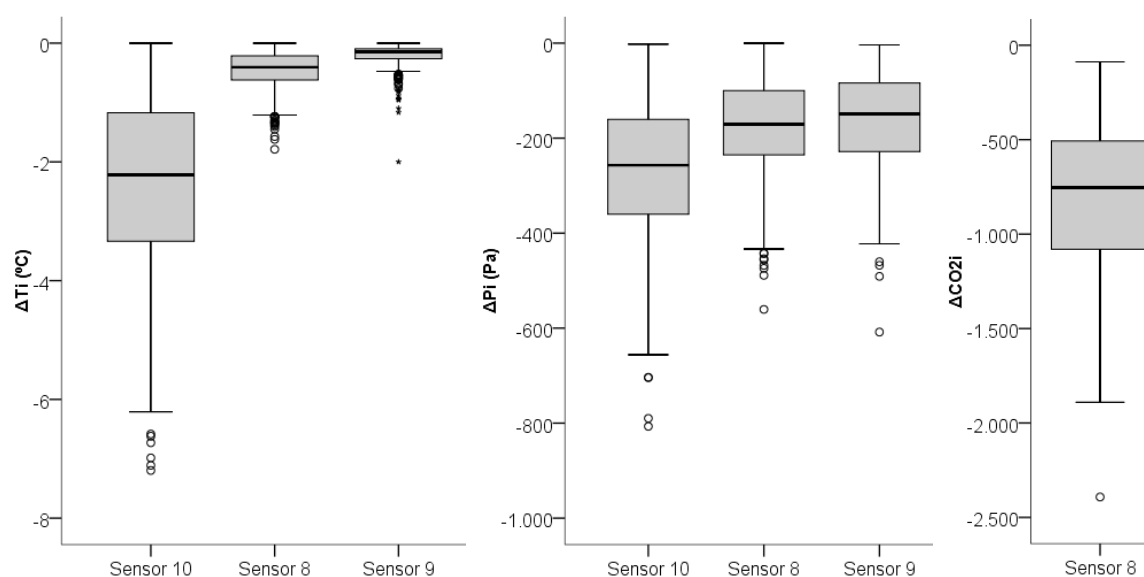


Figura 65 – Impactos da ação de abrir as janelas no compartimento R1 ao nível de  $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$  e  $\Delta CO_{2i}$ .

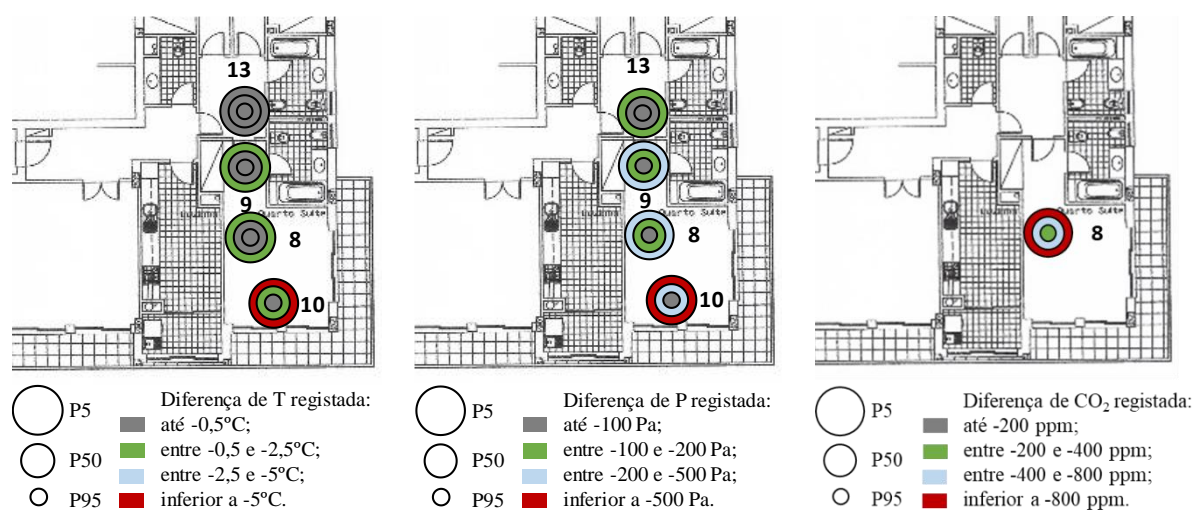


Figura 66 – Impactos da ação de abrir as janelas no compartimento R1.

Para além da quantificação dos impactos dos parâmetros T, P e CO<sub>2</sub> que a abertura das janelas provoca no ambiente interior, é possível obter-se as variações provocadas nas renovações horárias por esta ação. De acordo com o indicado anteriormente neste capítulo, foram obtidas as RPH provocadas pela abertura de janela. Devido ao facto deste método requerer uma concentração inicial elevada de CO<sub>2</sub>, apenas foi conseguido determinar as RPH para a abertura da janela matinal, após a existência de um longo período de ocupação ininterrupta no compartimento. Foi ainda obtido o coeficiente de Spearman relacionando a ação com a variação das renovações horárias, tendo-se obtido um coeficiente inferior a 0,3, apesar de apresentar elevada significância estatística. Os valores de RPH obtidos após a abertura da janela são apresentados na Figura 67. Como se pode observar, as RPH registaram um impacto máximo de 6 h<sup>-1</sup>, mínimo de 1 h<sup>-1</sup>, tendo a mediana sido de 4 h<sup>-1</sup>.

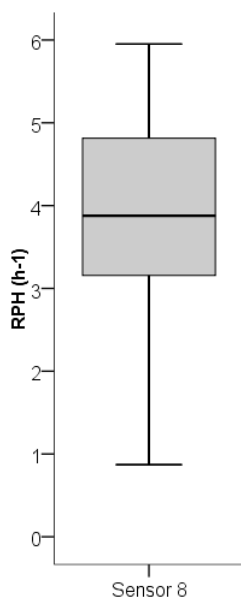


Figura 67 – Impactos da ação de abrir as janelas no compartimento R1 ao nível das RPH.

#### Abertura das janelas (W1) – Ação A2

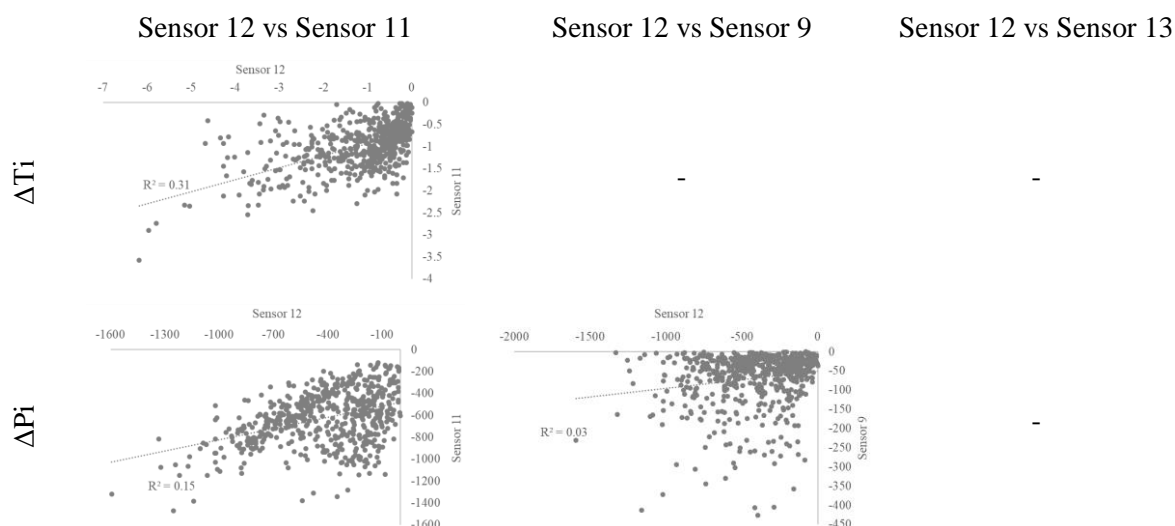
A abertura das janelas no compartimento W1 ocorre maioritariamente após a ação “tomar banho” no mesmo compartimento. Deste modo, os parâmetros registados imediatamente antes da abertura das janelas ainda estão sob influência (positiva) dos impactos da ação do banho, aumentando a grandeza da variação provocada pela ação da abertura das janelas tanto ao nível da temperatura como da pressão de vapor de água.

Relacionando a ação de abertura de janelas com a variação da temperatura e pressão ( $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$ , respetivamente) dos sensores 12, 11, 9 e 13, foram obtidos coeficientes de Spearman reduzidos, mas com significância estatística, à semelhança do observado para a ação do banho. Ou seja, não existiu nenhum coeficiente inferior a -0,7 tendo os valores para os sensores do interior do compartimento W1 sido sensivelmente o dobro dos obtidos para os sensores 9 e 13. Para esta ação os coeficientes foram negativos uma vez que o seu impacto resulta numa diminuição de T e P.

Relativamente às correlações entre os parâmetros, verificou-se algo em tudo semelhante ao obtido para a ação banho. Existem correlações moderadas entre os sensores do interior do compartimento W1 e o mesmo se verifica entre os sensores do exterior do compartimento. Existe apenas uma correlação estatisticamente relevante entre os sensores do interior e exterior do compartimento que foi obtida para

a variação de pressão do sensor 9 com o mesmo parâmetro dos sensores localizados nas posições 11 e 12. Na Tabela 24 estão apresentadas as aproximações lineares entre os sensores cuja correlação com a ação de abrir as janelas apresentou significância estatística.

Tabela 24 – Gráficos de dispersão entre os valores dos parâmetros  $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$  dos impactos da abertura de janela W1.



A quantificação dos impactos nos parâmetros e sensores cuja correlação com a ação apresentou significância estatística está indicada na Figura 68. Pode-se observar que o sensor 12 foi aquele em que a variação da temperatura tomou valores mais elevados, apesar do 2º e 3º quartis apresentarem variações menores a nível absoluto. Esta situação ocorre devido à influência que o sensor 12 sofre da radiação solar uma vez estar próximo da janela. Tal situação já tinha sido verificada para a ação de tomar banho.

Relativamente à variação da pressão nos sensores 11 e 12, observam-se variações negativas máximas de perto de 1200 Pa sendo, no entanto a média no sensor 11 de cerca de 600 Pa e no sensor 12 de cerca de 400 Pa. Esta diferença também é explicada pelos valores registados nos impactos da ação banho, que atingiu valores superiores no sensor 11.

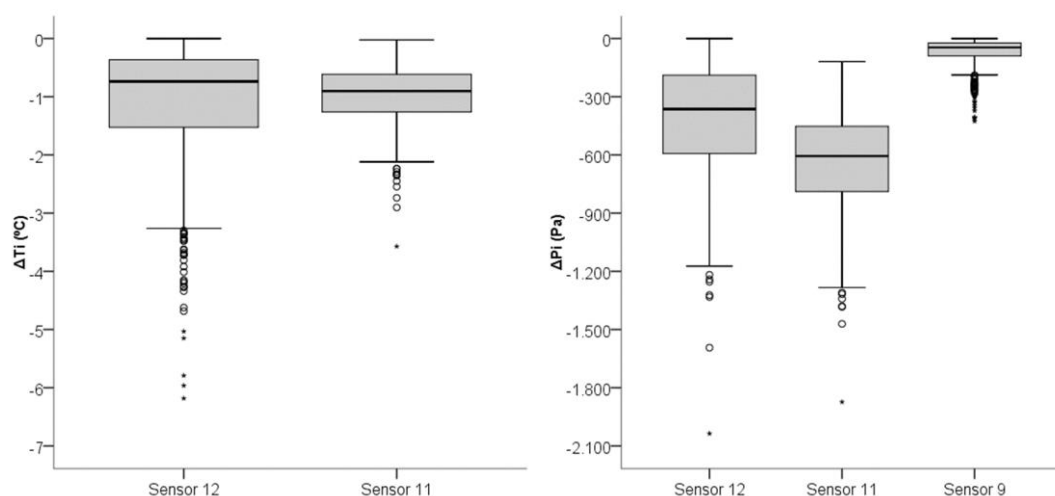


Figura 68 – Impactos da ação de abrir a janela no compartimento W1 ao nível de  $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$ .

A reduzida correlação entre os parâmetros  $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$  dos sensores do compartimento W1 com os sensores no exterior deste compartimento, mas nas suas proximidades, pode estar relacionada com:

- Hábito dos ocupantes de manter a porta da W1 fechada durante o banho e nos instantes que o sucedem;
- Existência de coincidência temporal entre a abertura das janelas do R1 e W1 (Figura 69), existindo por isso dupla influência de ações no sensor da posição 9. Para haver variação dos parâmetros interior como impacto da ação de abertura das janelas, tem que haver uma diferença de pressão e de temperatura entre o interior e o exterior. Uma vez que a janela da R1 inicia a sua abertura (em moda) cerca de 1:30 horas antes da abertura (em moda) da janela da W1, a ambiência dos sensores 13 e 9 já foi alterada não existindo possibilidade de grandes variações por influência das condições exteriores (em virtude da abertura da janela).

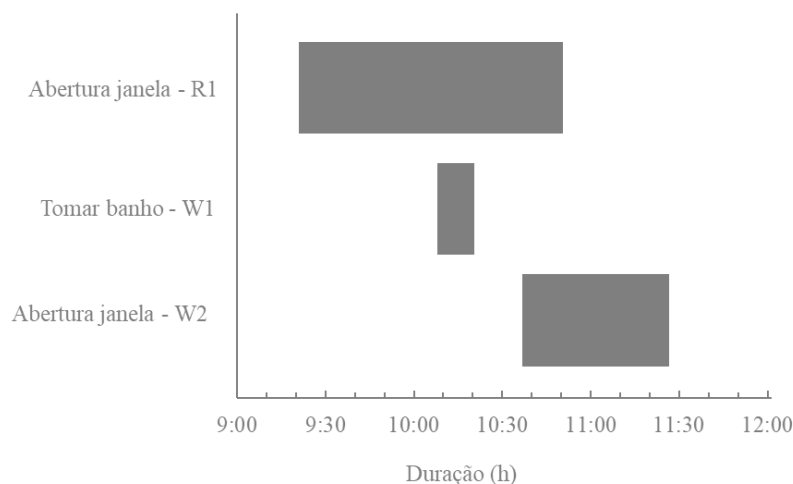


Figura 69 – Coincidência temporal entre as ações “janela aberta - R1 e W1” e “tomar banho W1”.

A representação gráfica dos impactos da ação de abrir a janela no compartimento W1 está apresentada na Figura 70 com a inclusão dos percentis 5, 50 e 95 ( $P_5$ ,  $P_{50}$  e  $P_{95}$ , respetivamente) das variações registadas, por influência da ação.

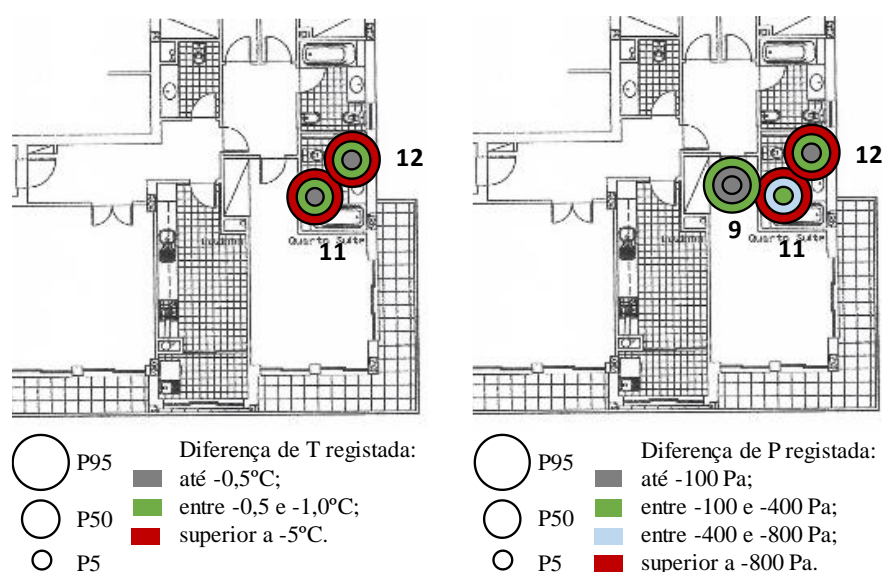


Figura 70 – Impactos da ação de abrir a janela no compartimento W1.



### Ato de tomar banho (W1) – Ação A3

A análise dos impactos da ação de tomar banho na instalação sanitária W1 ao nível da temperatura e pressão de vapor de água, nos sensores localizados nas posições 11, 12, 9 e 13, foi efetuada através dos coeficientes de correlação de Spearman. Foram encontradas correlações com significância estatística entre a ação de tomar banho e os seguintes parâmetros:

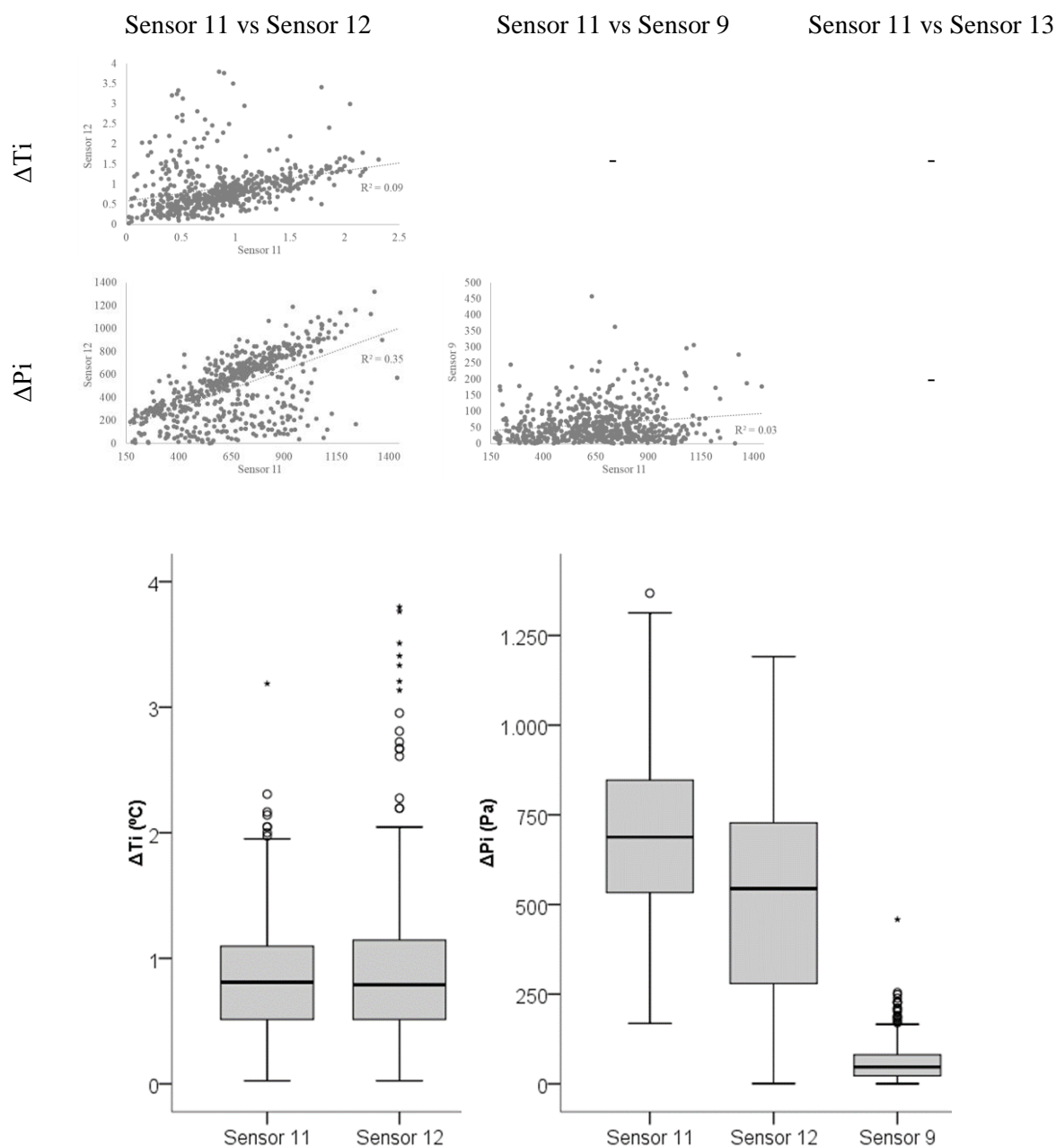
- $\Delta T_i$  nos sensores 11 e 12;
- $\Delta P_i$  nos sensores 11, 12 e 9.

O valor da correlação foi consideravelmente mais elevado para os parâmetros registados nos sensores localizados dentro do compartimento W1 (sensor 11 e 12) do que nos sensores localizados no exterior do compartimento W1 (sensor 9 e 13) tendo o valor mais elevado sido obtido para o sensor 11. No entanto, nenhum valor do coeficiente de Spearman foi superior a 0,7 pelo que se optou por correlacionar os parâmetros dos diferentes sensores entre si.

Ao nível da temperatura ( $\Delta T_i$ ) os sensores localizados no interior da instalação sanitária mostraram uma correlação moderada de acordo com Hinkle, Wiersma, e Jurs (2003). Podendo-se observar na Tabela 25 que existe uma correlação entre os valores de  $\Delta T_i$  dos dois sensores. É também possível observar que o  $R^2$  da aproximação com uma regressão linear entre os sensores 11 e 12 é muito reduzido, observando-se a existência de alguns valores bastante acima da regressão linear. Este facto é justificável com a influência da radiação solar no compartimento, estando o sensor 12 muito próximo da janela. Contudo, é possível observar na Tabela 25 uma correlação clara entre os sensores 11 e 12 quando os valores de  $\Delta T_i$  do sensor 12 não superam os 1,5°C. Os sensores localizados no interior da W1 (11 e 12) não apresentaram uma correlação com significância estatística com os sensores localizados na posição 9 e 13, ao nível de  $\Delta T_i$ . Por sua vez os sensores 9 e 13, apresentam uma correlação moderada entre si. Assim, considera-se que apenas os sensores localizados no interior do compartimento é que registam os impactos da ação tomar banho ao nível da temperatura.

Ao nível da pressão de vapor de água, foi encontrada uma correlação moderada entre o sensor 11 e o sensor 12. Esta correlação pode ser observada na Tabela 25, assim como a existência de vários valores fora da tendência justificável com a influência que a radiação solar tem no sensor 12. Existe ainda uma correlação com significância estatística entre os sensores da W1 (11 e 12) e o sensor 9 ao nível de  $\Delta P_i$ . Contudo, como se pode observar na Tabela 25, a aproximação da correlação com uma regressão linear não existe. Como indicado para o parâmetro  $\Delta T_i$ , os sensores 9 e 13 também estão moderadamente correlacionados entre si aquando da ocorrência da ação tomar banho da W1.

Relativamente à quantificação dos impactos, apresentam-se na Figura 71 as variações dos parâmetros de T e P ( $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$ , respetivamente) registadas nos sensores nas localizações 11 e 12 por impacto da ocorrência da ação de tomar banho no compartimento W1 e a  $\Delta P_i$  no sensor 9. Observa-se que existem diversos valores atípicos no sensor 12. Como já referido estes valores existem pela influência da radiação solar no vão envidraçado da janela. No entanto, os quartis 1, 2 e 3 são muito aproximados entre os sensores da W1 (11 e 12). Assim, considera-se que o ato de tomar banho impacta positivamente a temperatura do compartimento W1 até 2°C estando a mediana perto dos 0,75°C. Relativamente à variação da pressão no sensor 11, foram registados impactos positivos de até perto de 1250Pa estando a mediana perto dos 700 Pa. Existem valores de  $\Delta P_i$  muito baixos (perto de nulos) no sensor 12 que podem corresponder a atos de tomar banho com a janela aberta. Foi ainda encontrada uma pequena variação positiva da variação da pressão na localização 9 com valores máximos de perto de 250 Pa, sendo a mediana de cerca de 50 Pa. Estas variações são muito inferiores às registadas no interior da W1 (sensores 11 e 12).

Tabela 25 – Gráficos de dispersão entre os valores dos parâmetros  $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$  dos impactos do banho na W1.

Figura 71 – Impactos da ação de tomar banho no compartimento W1 ao nível de  $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$ .

Como indicado anteriormente, os sensores localizados no interior do compartimento W1 (11 e 12) possuem uma correlação positiva moderada entre si, à semelhança do que acontece com os sensores localizados fora do compartimento W1 (sensores 9 e 13) para os dois parâmetros avaliados ( $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$ ). Desta forma pode-se assumir que os impactos de tomar banho no compartimento W1 ficam praticamente confinados ao compartimento, havendo uma variação dos parâmetros nos sensores exteriores ao compartimento W1, correlacionados entre si. Há motivos para tal se verificar:

- Hábito dos ocupantes de manter a porta da W1 fechada durante o banho e nos instantes que o sucedem;
- Existência de coincidência temporal entre o ato de tomar banho na W1 e a abertura das janelas do R1 (Figura 72), existindo por isso dupla influência de ações no sensor da posição 9 e em sentido inverso (abertura da janela na R1 correlaciona-se negativamente a  $\Delta P_i$  do sensor 9 e o ato de tomar banho, correlaciona-se positivamente);
- Existência do hábito de abrir a janela exterior após o banho que volta a equilibrar os impactos que a ação provoca nos parâmetros interiores ( $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$ ).

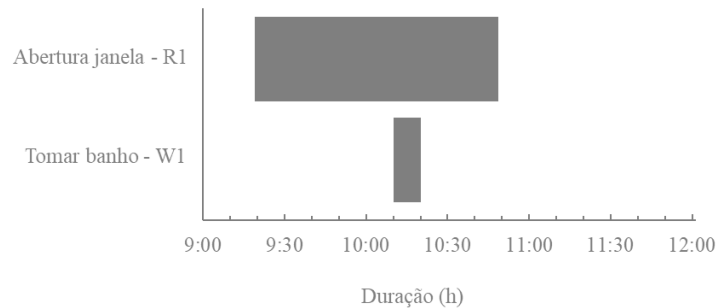


Figura 72 – Coincidência temporal entre as ações “janela aberta R1” e “tomar banho W1”.

A representação gráfica dos impactos da ação de tomar banho do compartimento W1 está apresentada na Figura 73 com a inclusão dos percentis 5, 50 e 95 ( $P_5$ ,  $P_{50}$  e  $P_{95}$ , respetivamente) das variações registadas, por influência da ação.

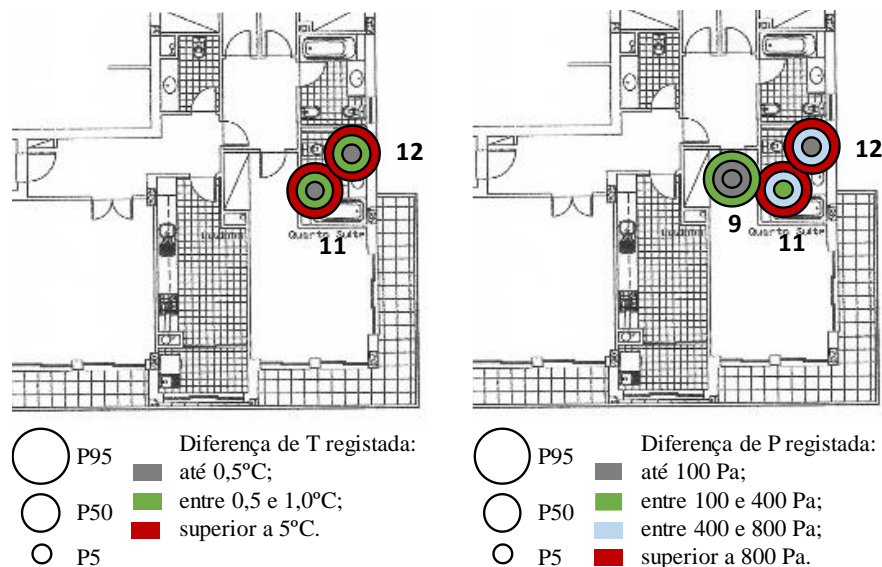


Figura 73 – Impactos da ação de tomar banho no compartimento W1.

#### Ato de cozinhar (K) – Ação A4

Relativamente aos impactos da ação de cozinhar no compartimento K, nos parâmetros de temperatura e pressão de vapor de água dos sensores localizados nas posições 16, 18, 15 e 14, obtiveram-se os coeficientes de correlação de Spearman. Foram encontradas correlações com significância estatística entre o ato de cozinhar e os seguintes parâmetros:

- $\Delta T_i$  nos sensores 16, 15 e 14;
- $\Delta P_i$  nos sensores 16, 18, 15 e 14.

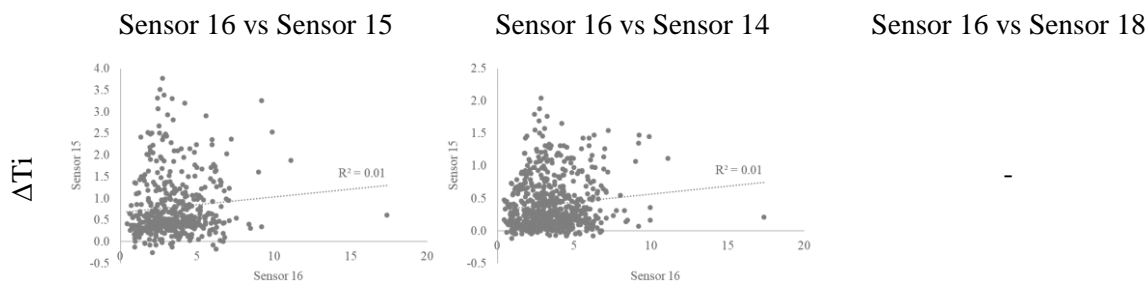
As correlações com o parâmetro  $\Delta T_i$  nos sensores 15 e 14 apenas apresentaram significância estatística no nível 0,05 (bilateral) enquanto com o sensor 16 a correlação teve significância estatística ao nível 0,01 (bilateral). As correlações da ação de cozinhar com o parâmetro  $\Delta P_i$  de todos os sensores teve significância estatística ao nível 0,01 (bilateral). O valor da correlação foi consideravelmente mais elevado para os parâmetros registados no sensor 16 e para os parâmetros de  $\Delta P_i$ , contudo, não se obteve nenhum coeficiente de correlação superior a 0,7.

Através da correlação dos parâmetros  $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$  entre as localizações 16, 18, 15 e 14 foi possível perceber que ao nível da  $\Delta T_i$  o sensor 16 não possui nenhuma correlação com significância estatística ao nível 0,01 (bilateral), correlacionando-se ao nível 0,05 (bilateral) com os sensores 15 e 14. Os sensores 18, 15 e 14 correlacionam-se entre si com um coeficiente que varia de elevado a muito elevado. Relativamente ao parâmetro  $\Delta P_i$ , existe uma correlação moderada entre o sensor 16 e os sensores 15 e 14. A correlação entre o sensor 14 e 15 é elevada e do sensor 18 com os sensores 14 e 15 é moderada. Apresenta-se na Tabela 26 os gráficos de dispersão entre os parâmetros de duas localizações. Como se pode observar, não existe qualquer tendência linear entre os valores de  $\Delta T_i$  obtidos no sensor 16 com os valores obtidos nos sensores 15 e 14. Existe, contudo, uma tendência de aproximação linear, embora fraca, entre a  $\Delta P_i$  registada no sensor 16 e nos sensores 15 e 14, sendo essa tendência pouco evidente para o sensor 18. Existe, no entanto, uma tendência muito clara na  $\Delta T_i$  registada nos sensores 15 e 14 e uma boa correlação entre os sensores 15 e 18 e 18 e 14. Ao nível de  $\Delta P_i$ , existe uma boa correlação entre os sensores 15 e 14 enquanto que, com o sensor 18, é possível observar-se uma tendência linear embora com um reduzido  $R^2$ .

Pode-se assim concluir que as especificações da localização do sensor 16 (entre o fogão e o extrator da cozinha) fazem com que os valores por ele registados tenham pouca correlação com o outro sensor do mesmo compartimento (sensor 15) e dos compartimentos contíguos (sensores 18 e 14).

Relativamente à quantificação dos valores, pode-se observar na Figura 74 que o sensor 16 é aquele onde os impactos do ato de cozinhar são mais evidentes. As diferenças são consideráveis ao ponto do quartil 1 de  $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$  registado no sensor 16 ter sensivelmente do mesmo valor dos máximos registados nos outros sensores (15 e 14). A variação máxima de T por impacto do ato de cozinhar na zona do sensor 16 foi de cerca de 9°C, sendo o valor das medianas perto de 3°C. A variação da P máxima situou-se nos 2000 Pa sendo a mediana 500 Pa.

Tabela 26 – Gráficos de dispersão entre os valores dos parâmetros  $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$  dos impactos do ato de cozinhar.



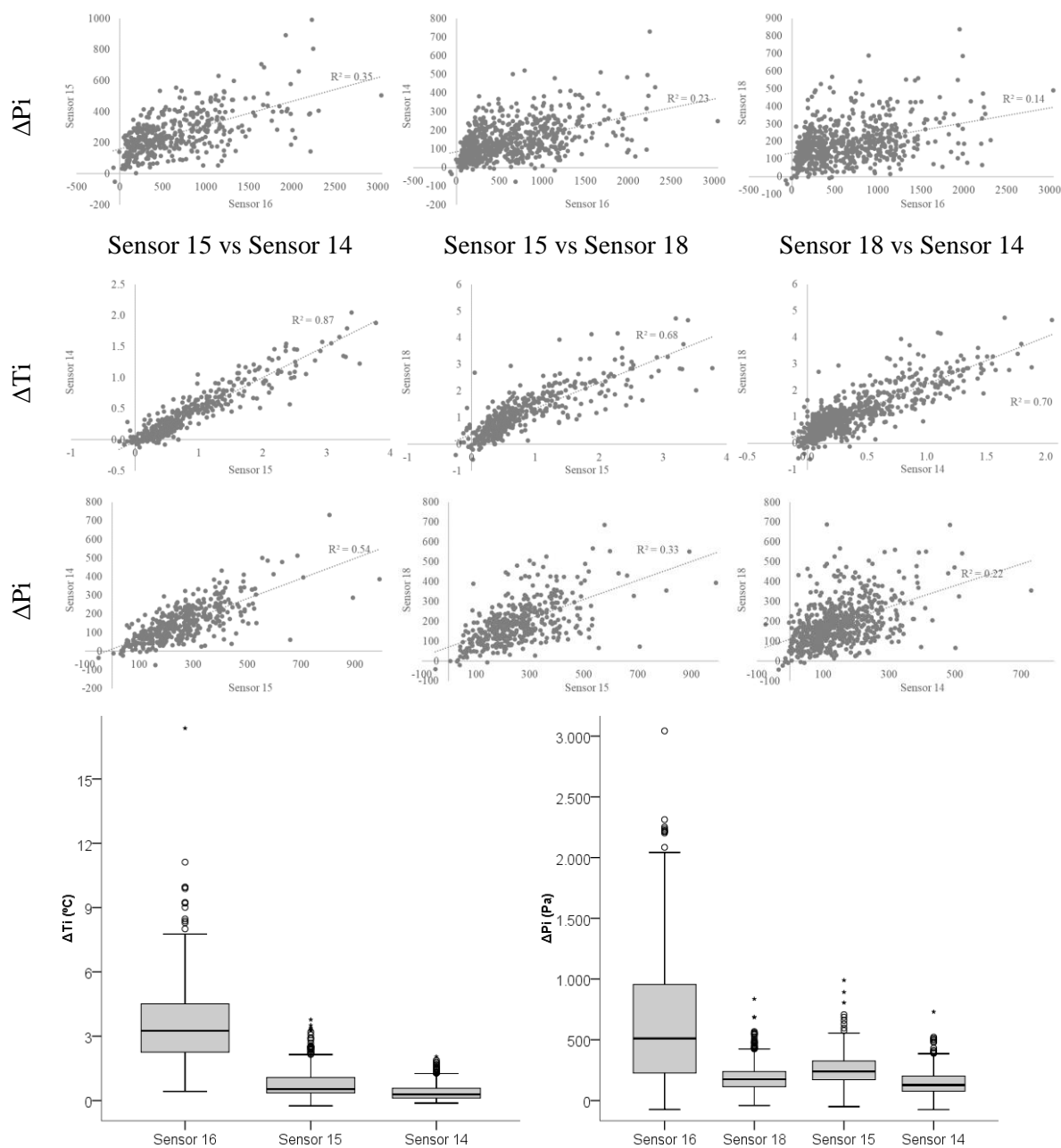


Figura 74 – Impactos da ação de cozinhar no compartimento K ao nível de  $\Delta T_i$  e  $\Delta P_i$ .

A representação gráfica dos impactos da ação de cozinhar no compartimento K está apresentada na Figura 75 com a inclusão dos percentis 5, 50 e 95 ( $P_5$ ,  $P_{50}$  e  $P_{95}$ , respetivamente) das variações registadas, por influência da ação.

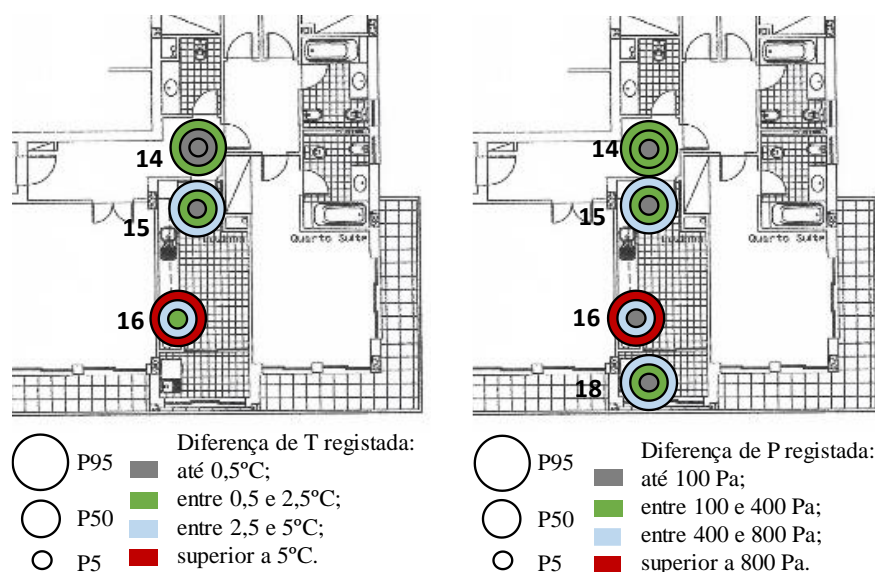


Figura 75 – Impactos da ação de cozinhar no compartimento K.

#### Ato de aquecer (LR) – Ação A5

O ato de aquecer, ao contrário dos anteriores, é uma ação que não ocorre durante todo o ano. No período considerado, o aquecimento iniciou-se no dia 7 de dezembro de 2015 e terminou no dia 24 de abril de 2016 tendo iniciado novamente no dia 24 de novembro de 2016, tendo por isso sido esse o período considerado para os resultados que a seguir se apresentam.

Relativamente aos impactos da ação de aquecimento no compartimento LR, nos parâmetros de temperatura e pressão de vapor de água dos sensores localizados nas posições 1, 2, 5 e 13, obtiveram-se os coeficientes de correlação de Spearman. Foram encontradas correlações com significância estatística entre a o ato de aquecer e os seguintes parâmetros:

- $\Delta T_i$  nos sensores 1 e 2;

As correlações com o parâmetro  $\Delta T_i$  nos sensores 1 e 2 apresentaram significância estatística ao nível 0,01 (bilateral) embora nenhum coeficiente tenha ultrapassado o valor de 0,5.

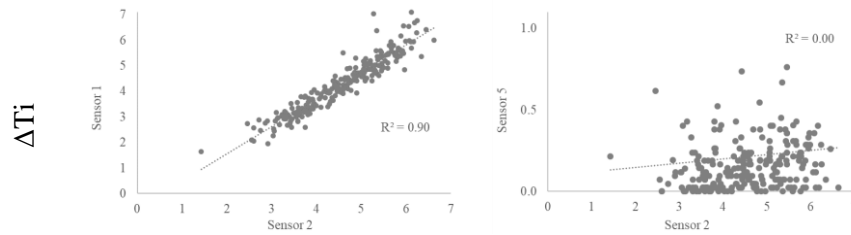
Através da correlação do parâmetro de  $\Delta T_i$  entre as localizações 1, 2, 5 e 13 foi possível perceber que os sensores 1 e 2 possuem uma correlação muito elevada e ambos possuem uma baixa correlação com o sensor 5 e uma correlação desprezável com o sensor 13. Apresenta-se na Tabela 27 os gráficos de dispersão entre os parâmetros de duas localizações. Como se pode observar, existe uma tendência linear muito clara entre os valores obtidos no sensor 1 e 2. A mesma tendência não é possível de observar entre os sensores localizados no compartimento LR e as restantes. Assim, considera-se que o aquecimento no compartimento LR não tem impactos significativos nos compartimentos próximos.

Tabela 27 – Gráficos de dispersão entre os valores dos parâmetros  $\Delta T_i$  dos impactos do ato de aquecer o compartimento LR.

Sensor 2 vs Sensor 1

Sensor 2 vs Sensor 5

Sensor 2 vs Sensor 13



A quantificação dos impactos da ação de aquecer o compartimento LR, pode ser observada na Figura 76. Ao nível de  $\Delta T_i$ , o sensor 2 é aquele que em mediana é mais influenciado pela ação em questão, mas na mesma ordem de grandeza do sensor 1. Pode-se observar que a mediana do impacto do aquecimento leva a um aumento de cerca de  $4^\circ\text{C}$  nas localizações 1 e 2 sendo que os máximos aproximam-se dos  $7^\circ\text{C}$  e os mínimos dos  $2^\circ\text{C}$ . No quarto R2, o aquecimento no compartimento LR provoca um aumento de temperatura detetado pelo sensor 5, em mediana inferior a  $0,5^\circ\text{C}$ .

Relativamente ao impacto do aquecimento no consumo de energia, pode-se observar na Figura 76 que existiu um consumo diário cujos quartis Q1 e Q3 variaram entre 6000 W e 10000 W, existem alguns dias extremos na série de dados do consumo com valores máximos a aproximarem-se dos 24000 W.

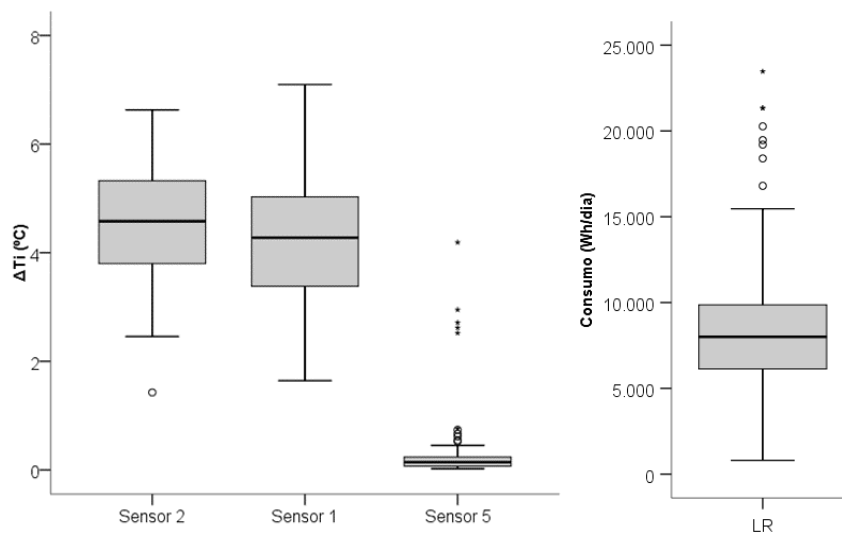


Figura 76 – Impactos da ação de aquecer o compartimento LR ao nível de  $\Delta T_i$  e consumo de energia.

A representação gráfica dos impactos da ação de aquecer o compartimento LR está apresentada na Figura 77 com a inclusão dos percentis 5, 50 e 95 ( $P_5$ ,  $P_{50}$  e  $P_{95}$ , respetivamente) das variações registadas, por influência da ação.

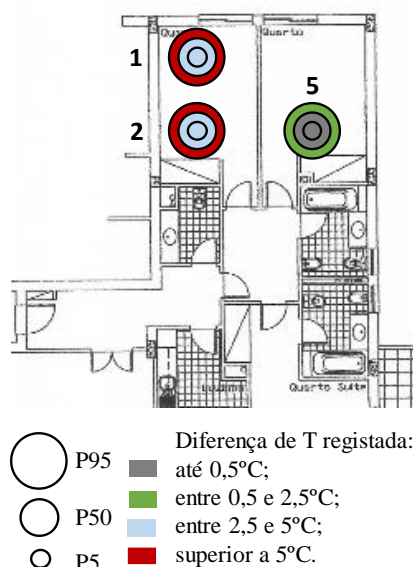


Figura 77 – Impactos da ação de aquecer o compartimento LR.

O valor total da energia elétrica consumida para o aquecimento ambiente foi de aproximadamente 1150 kWh/ano. O total de energia elétrica consumida na habitação foi de 3544 kWh/ano. As águas quentes sanitárias (AQS) foram asseguradas por gás natural, não estando por isso contabilizadas nestes valores. De acordo com o inquérito ao consumo realizado em Portugal (INE e DGEG 2011), o consumo médio em eletricidade por alojamento está nos 3698 kWh/ano e o aquecimento nos 419 kWh/ano por alojamento. Contudo, de acordo com o referido estudo, a percentagem do consumo de energia elétrica para aquecimento representa apenas 14%, sendo a fonte predominante a biomassa.

#### Ato de regular a abertura da grelha de ventilação (W1) – Ação A6

Através dos registos solicitados aos ocupantes do caso de estudo, foi registada uma alteração do estado de abertura da grelha de extração mecânica presente no compartimento W1, sensivelmente a meio do período de monitorização. Esta alteração consistiu na abertura do extrator que se encontrava fechado (Figura 78). Uma vez que, durante o período considerado neste estudo, não foi colocado um sensor de CO<sub>2</sub> no compartimento W1, optou-se pela determinação do impacto desta ação dos ocupantes nas renovações de ar por hora através do método dos gases traçadores. No compartimento R1, estava instalado um sensor de CO<sub>2</sub>, tendo-se obtido os valores de RPH com esses dados. Devido à influência combinada do efeito do estado de abertura da grelha com o estado de funcionamento do sistema de extração mecânica (VMC), foi avaliado o seu efeito conjunto. Deste modo criaram-se 6 cenários, tendo-se obtido os valores de RPH para esses cenários:

- Cenário 1 – VMC ligada e extrator fechado;
- Cenário 2 – VMC ligada e extrator a meio;
- Cenário 3 – VMC ligada e extrator totalmente aberto;
- Cenário 4 – VMC desligada e extrator fechado;
- Cenário 5 – VMC desligada e extrator totalmente aberto.



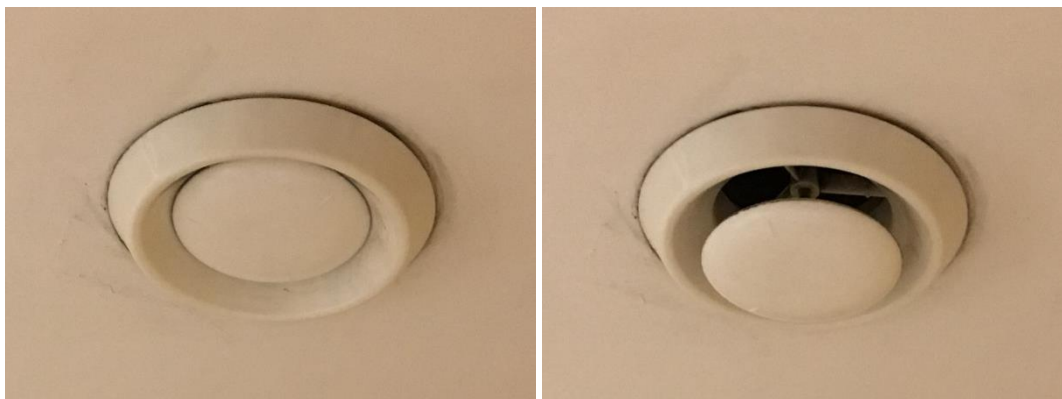


Figura 78 – Estado da grelha de extração – fechado (esquerda) e aberto (direita).

Os valores de RPH obtidos por cenário estão apresentadas na Tabela 28, especificados pelos compartimentos analisados. Optou-se apenas pela caracterização da instalação sanitária onde ocorreu a alteração executada pelos ocupantes e do quarto principal onde está localizada a instalação sanitária (R1 e W1). As curvas do método de decaimento usadas estão apresentadas no ANEXO II.

Tabela 28 – Valores de RPH para diferentes estados da grelha de extração e funcionamento do VMC.

Compartimento	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
W1	0,50*	2,00*	4,21*	0,15*	-
R1	0,37**	-	0,72**	0,24**	0,24**

\* equação (16)

\*\* equação (14)

Relativamente aos valores apresentados existem valores inferiores aos mínimos indicados na regulamentação nacional REH Decreto-Lei n.º 118/2013 (2013) – 0,4 – 0,6 RPH, nos valores referidos pela ASHRAE-62.1 (2007) para o setor residencial (2,5 l/s/pessoa), ASHRAE-62.2 (2016) (76,5 m³/h - para toda a casa em questão) e na generalidade das regulamentações europeias (Yoshino et al.).

É possível constatar que o comportamento dos ocupantes ao nível da regulação das grelhas da instalação sanitária W1, teve uma influência preponderante no comportamento da ventilação do compartimento R1. A concentração de CO<sub>2</sub> é diferente nas duas situações devido às alterações no RPH que a ação dos ocupantes provocou. Deste modo, determinou-se o valor de RPH durante os três períodos noturnos distintos (0-3; 3-6 e 6-9) tendo por base a equação (14), para o estado da grelha aberta e fechada. A distribuição dos valores calculados pode ser observada na Figura 79. Dos períodos apresentados, existem dois estados de funcionamento do sistema de ventilação VMC: das 0 às 3 e das 6 às 9 o sistema está ligado, encontrando-se desligado das 3 às 6. Pode-se observar na Figura 79 que o período em que o sistema de ventilação mecânica está desligado, a influência do estado da grelha é praticamente inexistente. No entanto, nos períodos da noite quando há extração mecânica, os valores de RPH no compartimento R1 são superiores quando a grelha está aberta.

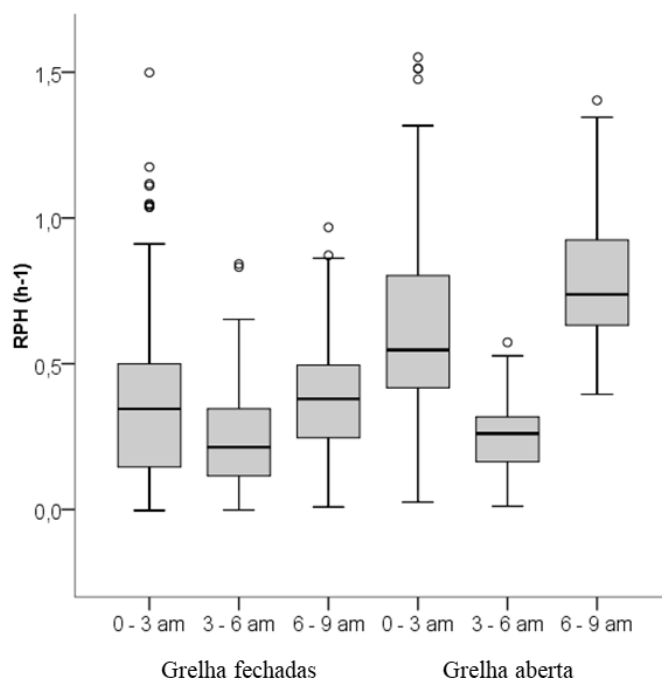


Figura 79 – Valores das renovações horárias de ar no período noturno (0 às 9) no compartimento R1.

#### 4.3.2. PERFIS DOS OCUPANTES

Da Figura 80 à Figura 85, é possível observar a evolução média diária dos parâmetros de temperatura, pressão de vapor de água e concentração de CO<sub>2</sub> de um sensor representativo dos compartimentos R1, W1 e K (sensor 8, Sensor 11 e sensor 16, respetivamente) ao longo do período de monitorização. Uma vez que as ações que ocorrem nestes compartimentos são muito frequentes, apresentaram-se os gráficos em função da ocupação. No total do período monitorizado, encontraram-se 336 dias com ocupação e 30 dias sem ocupação. Os dias sem ocupação estão divididos pelas 4 estações do ano, tendo 9 ocorrido no inverno, 12 no verão e 9 nos períodos de transição. Relativamente ao compartimento LR, uma vez que a ação ocorrida neste compartimento ocorre apenas num período do ano, optou-se por apenas considerar os dados desde o primeiro dia de aquecimento até ao último que corresponde ao período de dezembro a abril (Figura 86).

Relativamente ao compartimento R1, a análise da Figura 80 permitiu observar o seguinte:

- A tendência dos gráficos de temperatura dos dias com e sem ocupação não são muito diferentes no período sem ocupação permanente (das 9 às 21). No entanto, pode-se observar que no período de ocupação noturna (das 0 às 9, aproximadamente) há uma diferença considerável da tendência da temperatura. Enquanto no perfil tipo sem ocupação a temperatura decresce gradualmente, no perfil tipo com ocupação, a temperatura aumenta até que a VMC volta a entrar em funcionamento perto das 6h. A ação dos ocupantes de abrir a janela é também visível no perfil tipo com ocupação por volta das 9h, provocando uma diminuição abrupta da temperatura.

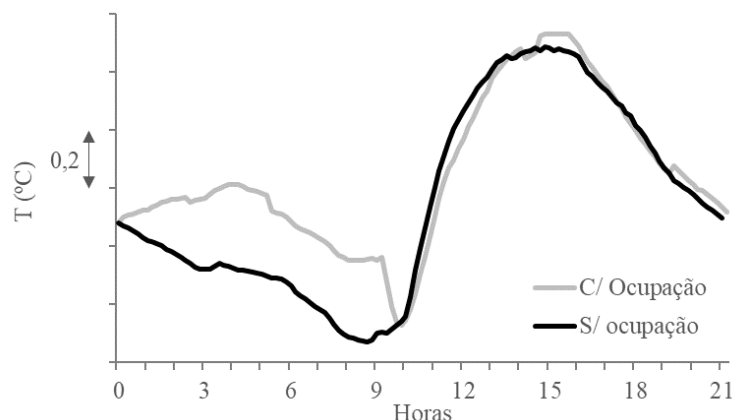


Figura 80 – Perfil de temperatura no compartimento R1 em períodos com e sem ocupação.

Ao nível da pressão de vapor de água no compartimento R1, a Figura 81 permitiu observar o seguinte:

- Os perfis médios de pressão apresentam uma evolução com tendências semelhantes no período sem ocupação noturna (9 às 21h). Durante as horas de ocupação noturna, a evolução da pressão nos dias com ocupação é positiva com diferentes evoluções em função do funcionamento do VMC, sendo ainda possível observar uma queda abrupta da pressão entre as 9 e as 10 da manhã fruto das ações dos ocupantes de abrir a janela. Nos perfis sem ocupação a pressão decresce gradualmente no período noturno exceto quando a VMC está desligada. Deste período (3 às 6) existe um aumento da pressão parcial de vapor de água.

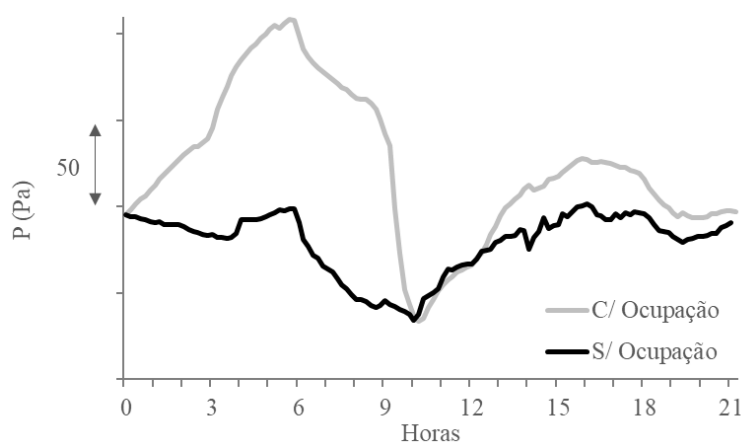


Figura 81 – Perfil de pressão de vapor de água no compartimento R1 em períodos com e sem ocupação.

Relativamente ao compartimento W1, analisando o perfil médio da temperatura (Figura 82), constata-se o seguinte:

- Nos dias com ocupação, existem variações de temperatura no período do dia sem radiação solar, relacionados com a ocupação nos compartimentos R1 e W1 ao contrário da evolução registada nos dias sem ocupação em que a evolução da temperatura está relacionada com a temperatura exterior e a radiação solar incidente na janela com orientação de este. O perfil da variação da temperatura nos dias sem ocupação é aproximadamente sinusoidal. No perfil

com ocupação, podem ainda observar-se variações relacionadas com a ação de tomar banho (picos superiores entre as 9 e as 10) e abertura das janelas (pico inferior depois das 10);

- É possível observar o efeito do estado de funcionamento do VMC nos dias com ocupação. Até às 3 h, a série temporal apresentava uma distribuição com uma tendência clara para a diminuição da temperatura, tendo esta tendência sido alterada das 3 h às 6 h, começando a apresentar uma tendência de subida. A tendência voltou a ser de decréscimo da temperatura após as 6 h, quando o VMC voltou a entrar em funcionamento. Da parte da tarde 15 h às 18 h, é difícil individualizar o efeito do VMC devido à sobreposição com outras ações dos ocupantes.

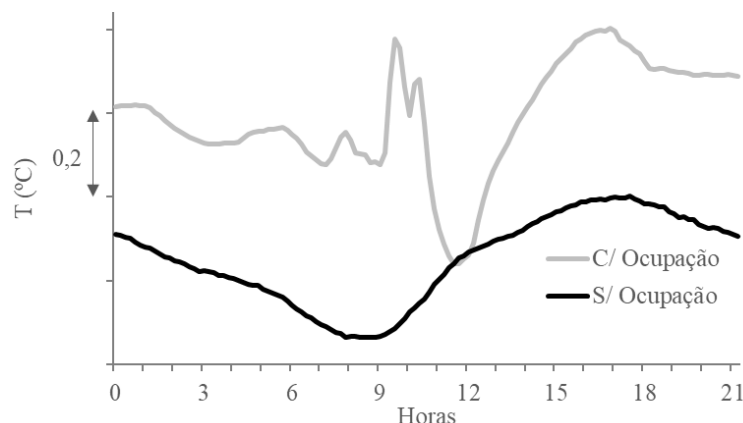


Figura 82 – Perfil de temperatura no compartimento W1 em períodos com e sem ocupação.

Relativamente ao compartimento W1, analisando o perfil médio da pressão de vapor de água (Figura 83), constata-se o seguinte:

- Os perfis de pressão de vapor de água dos dias com e sem ocupação são muito diferentes. Nos dias com e sem ocupação, é visível a existência de uma clara influência do estado de funcionamento da VMC nos valores de pressão de vapor de água. Existe uma evolução acentuada da pressão parcial de vapor de água nos períodos em que a VMC não está em funcionamento, contribuindo para um aumento do excesso de pressão no compartimento W1. Existem ainda picos superiores de pressão de vapor de água que correspondem a ações de tomar banho na manhã e tarde e inferiores que correspondem à abertura das janelas no compartimento W1;
- Nos dias com ocupação, observa-se que o excesso de pressão é gerado durante o período de ocupação noturna no compartimento R1, aumenta consideravelmente no período em que o VMC está desligado, diminuindo após a sua entrada em funcionamento, mas crescendo de seguida com a ocupação e ações de banho na W1. A abertura da janela no compartimento W1 reduz novamente o valor de P sendo que a partir do 12 h existe apenas uma diferença de comportamento face aos dias sem ocupação relacionada com o aumento de pressão no período da tarde em que o VMC volta a estar desligado (15 às 18).

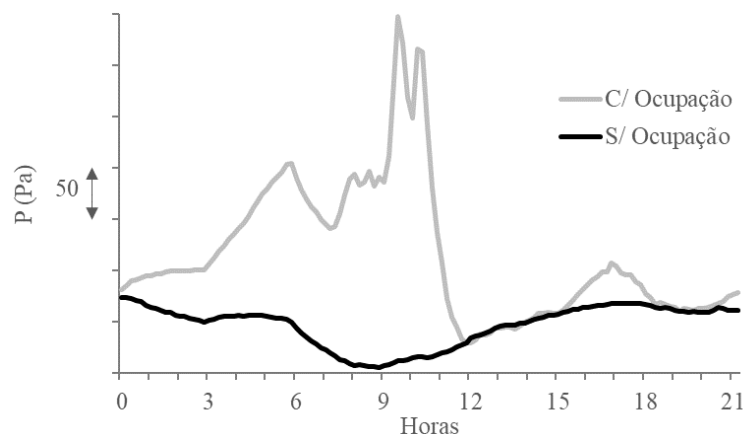


Figura 83 – Perfil de pressão de vapor de água no compartimento W1 em períodos com e sem ocupação..

Relativamente ao compartimento K, analisando o perfil médio da temperatura (Figura 84), constata-se o seguinte:

- Os perfis observados para os dias com ocupação e sem ocupação apresentam diferenças significativas. Enquanto a temperatura média registada nos dias sem ocupação se assemelha a uma senoide, nos dias com ocupação existe uma evolução súbita perto das 10 da manhã e uma evolução consistente das 11 às 13. Existe novo decréscimo, seguindo-se um novo pico positivo perto das 20h, fruto das ações de cozinhar.

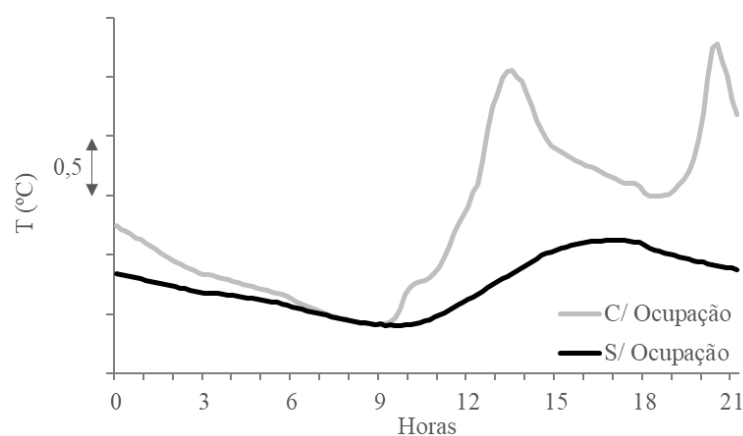


Figura 84 – Perfil de temperatura no compartimento K em períodos com e sem ocupação.

Ainda relativamente ao compartimento K, analisando o perfil médio da pressão de vapor de água (Figura 85), constata-se o seguinte:

- Existem algumas diferenças nos perfis de pressão de vapor de água para os dois dias tipo. Contudo, existe a mesma tendência de aumento da pressão nos períodos em que o VMC não está a funcionar. No perfil médio sem ocupação, são estes períodos de VMC desligada que interrompem a tendência sinusoidal da curva. Nos restantes períodos, os dias com ocupação apresentam aumentos nos mesmos instantes verificados para o perfil da temperatura: 10 h; 13 h e 20 h, coincidentes com a ação de cozinhar.

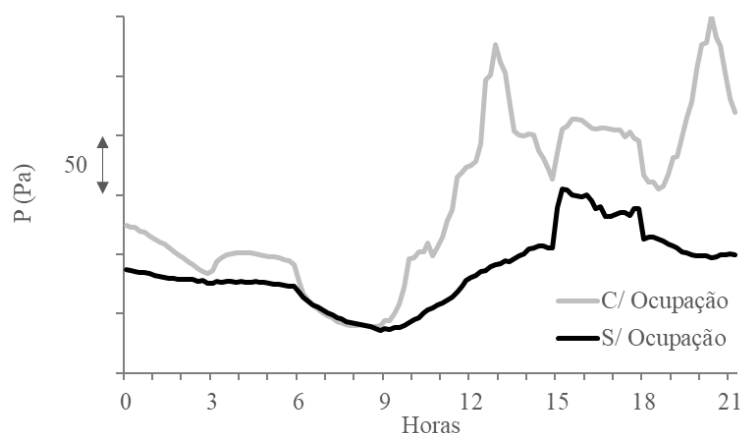


Figura 85 – Perfil de pressão de vapor de água no compartimento K em períodos com e sem ocupação..

Relativamente ao compartimento LR, analisando a Figura 86 constata-se o seguinte:

- Os perfis de temperatura dos dias com e sem ocupação durante o período de aquecimento (dezembro a abril) são muito diferentes. Nos dias sem ocupação, a temperatura média em todos os instantes ao longo do dia não sofre grandes alterações, sendo aproximadamente de 19°C. Nos dias com ocupação, verifica-se que o aumento da temperatura ocorre perto das 18h, depois inicia-se o decréscimo da temperatura, estabilizando perto das 10h.

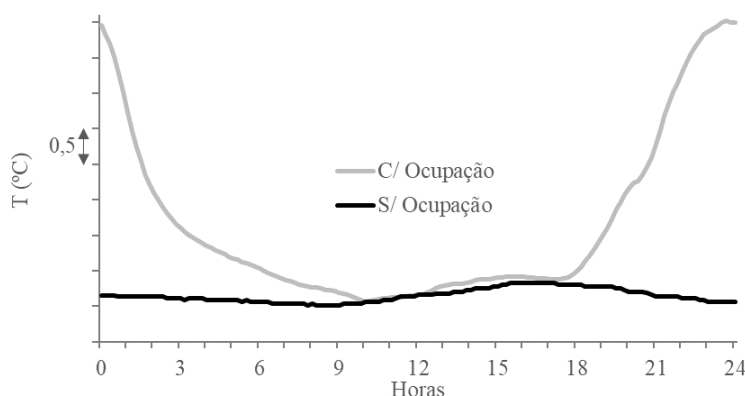


Figura 86 – Perfil de temperatura no compartimento LR em períodos com e sem ocupação..

Através dos consumos de energia obtidos ao longo do ano monitorizado, foi possível construir um gráfico com o consumo médio com o aquecimento do compartimento LR nos dias em existiu aquecimento no período de dezembro de 2015 a abril de 2016 (Figura 87).

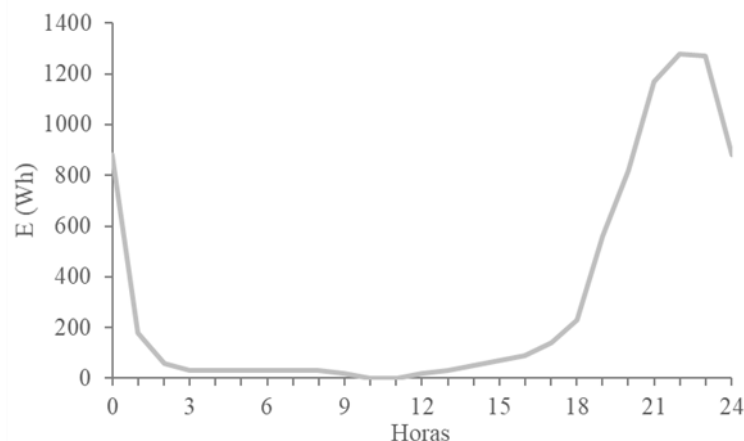


Figura 87 – Consumo médio com o aquecimento nos dias em que este foi ligado.

Foi também possível obter perfis tipo de concentrações de  $\text{CO}_2$  em função da variação da abertura das grelhas de extração do W1 executada por parte dos ocupantes. Foram registados inicialmente dados com a grelha fechada, tendo depois sido registado dados com a grelha aberta (Figura 78). De acordo com os ocupantes, esta alteração de atitude deveu-se à maior consciência para a necessidade de aumentarem as renovações horárias da W1 e R1. Para este comportamento dos ocupantes, apresentam-se na Figura 88 os valores médios obtidos a cada instante medido para o período no qual a grelha de extração estava fechada e no período com a grelha aberta, nos períodos com ocupação. Através da análise da Figura 88 e da Figura 89, é possível observar o seguinte:

- A diferença de valores toma maiores dimensões no período de ocupação permanente, quando existe produção consistente de  $\text{CO}_2$  no interior da fração (aproximadamente entre as 23h e as 9h). No restante período as diferenças são pouco significativas. Pode ainda observar-se que existem diferenças da evolução do  $\text{CO}_2$  ao longo do período de ocupação. No período das 23 às 3, existe uma tendência de evolução da concentração de  $\text{CO}_2$  que aumenta no período das 3 às 6. Entre as 6 e as 9, existe outra tendência, verificando-se uma diminuição da concentração de  $\text{CO}_2$ . Depois das 9 o valor da concentração cai abruptamente, devido à ação de abertura das janelas.
- Como indicado no subcapítulo 3.2, o sistema de extração mecânica do edifício funciona com interrupções entre as 3 e 6 e 15 e 18, sendo esta a justificação para a existência de diferenças tendência de evolução da concentração de  $\text{CO}_2$  durante o período de ocupação noturna. No período em que a grelha estava fechada atingiram-se valores máximos de concentração de cerca de 1900 ppm, enquanto no período em que a grelha estava aberta o valor não ultrapassou os 1700 ppm. A maior diferença está no quartil 3 que atingiu o valor de cerca de 1400 ppm no período com as grelhas fechadas face aos cerca de 900 ppm registados quando as grelhas estavam abertas;
- A alteração do estado da grelha na boca de extração da W1 levou a que a concentração mediana durante o período de ocupação noturna passasse de cerca de 1600 ppm, no caso de a grelha estar fechada, para cerca de 1000 ppm no caso da grelha estar aberta.

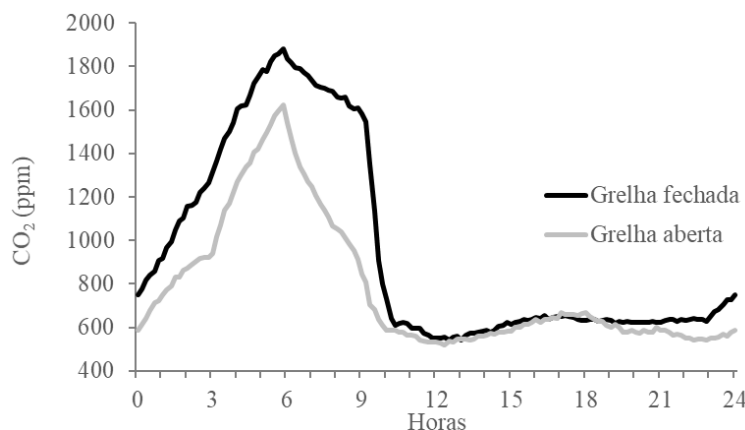


Figura 88 – Perfis tipo da concentração de CO<sub>2</sub> ao longo de 24h, em função do estado da grelha.

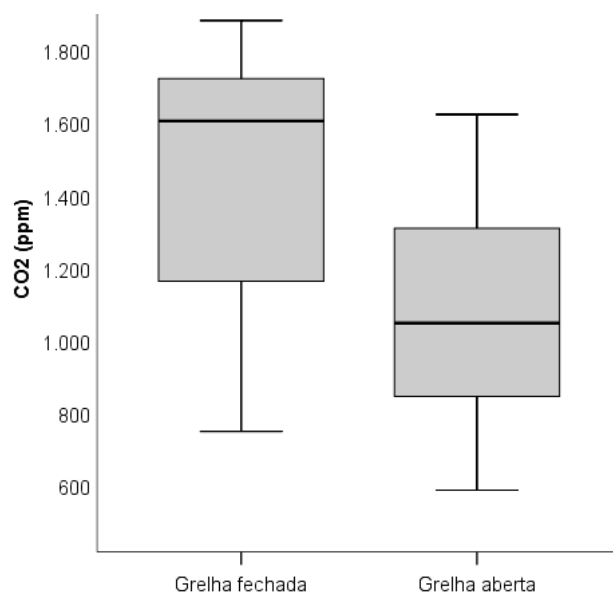


Figura 89 – Box-plot da concentração de CO<sub>2</sub>, no período noturno, em função do estado da grelha.

Ainda referente ao compartimento R1, é possível obter-se o perfil médio da concentração de dióxido de carbono quando não há ocupação. A Figura 90 permitiu observar que, no perfil médio dos dias sem ocupação, encontra-se uma ligeira tendência ao longo do período noturno quando a VMC está desligada (3 às 6), observando-se um aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, seguindo-se a sua diminuição após a entrada em funcionamento da VMC às 6 h.

Observando-se os valores máximos de concentração de CO<sub>2</sub>, 1900 ppm e 1700 ppm quando a grelha estava fechada e aberta, respetivamente, é possível observar que estes valores foram atingidos no período das 3 às 6, no qual a VMC não estava ligada. Além disso, as concentrações médias obtidas são muito superiores aos valores máximos normalmente considerados como aconselháveis (1000 ppm) (ASTM-D6245 2012). De modo a perceber quais as circunstâncias que seriam necessárias cumprir de modo a cumprir estas recomendações, foram simuladas curvas teóricas de concentração de CO<sub>2</sub> em função dos valores de RPH médios obtidos nos períodos das 0-3; 3-6 e 6-9 para as duas configurações da grelha e da extração mecânica. Estas curvas teóricas foram obtidas tendo por base a produção de CO<sub>2</sub> já indicada neste capítulo (5,97 cm<sup>3</sup>/s). Na Figura 91 pode-se observar que existe uma boa aproximação da curva



teórica com a curva real para os três períodos noturnos em função do estado de funcionamento da VMC (0 – 3; 3 – 6; 6 – 9) e do caso da grelha estar aberta ou fechada. Assim sendo, simularam-se as concentrações de CO<sub>2</sub> caso não existisse o procedimento de interrupção do funcionamento do sistema de ventilação entre as 3 e as 6 da manhã.

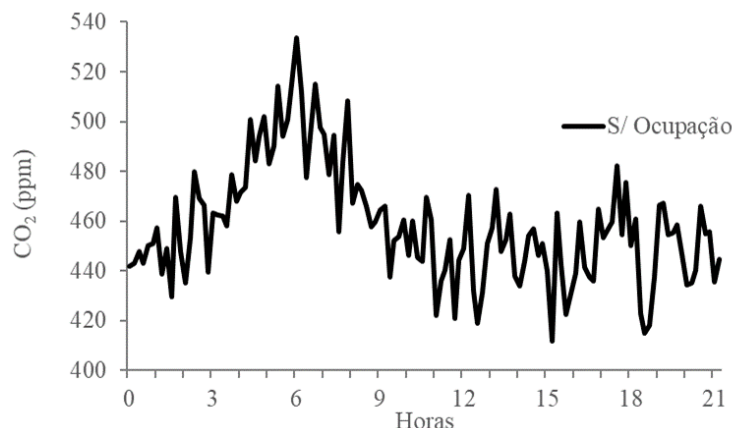


Figura 90 – Perfil de concentração de CO<sub>2</sub> no compartimento R1 em períodos sem ocupação.

Para a simulação das concentrações de CO<sub>2</sub> sem a interrupção da VMC, para além das considerações indicadas no capítulo 3.7.1, consideraram-se os seguintes valores para o cenário da grelha fechada:

- Ci – 750 ppm;
- Rph – 0,37 h<sup>-1</sup>.

E os seguintes valores para o caso da grelha aberta:

- Ci – 615 ppm;
- Rph – 0,72 h<sup>-1</sup>.

Os valores de concentração inicial (Ci) considerados para os dois estados das grelhas foram diferentes uma vez que se considerou o valor médio obtido de todos os dias monitorizados para a hora 0:00 (Figura 88). Uma vez que há dias em que os ocupantes iniciam a ocupação do compartimento R1 antes das 0:00, o valor a esta hora é necessariamente diferente devido ao facto das RPH serem diferentes nos dois cenários considerados. As renovações horárias foram baseadas nos valores médios calculados enquanto o sistema de ventilação funciona (Tabela 28). É possível observar que na configuração em que a grelha de extração está aberta, o valor da concentração teórica de CO<sub>2</sub> aproximava-se dos 950 ppm ao longo do período de ocupação noturna, mas não ultrapassava o valor dos 1000 ppm cumprindo os requisitos estipulados pela bibliografia. No entanto, com a configuração com a grelha de extração fechada, às 9 da manhã o valor aproximava-se dos 1500 ppm. Os gráficos resultantes desta simulação estão apresentados na Figura 92.

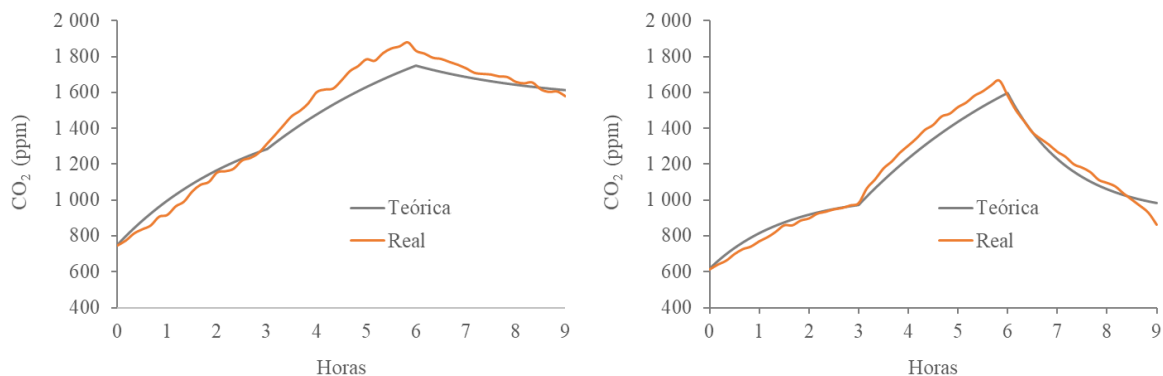


Figura 91 – Comparação entre o modelo teórico de concentração de CO<sub>2</sub> e os valores monitorizados para a configuração da grelha fechada (esq.) e aberta (dir.).

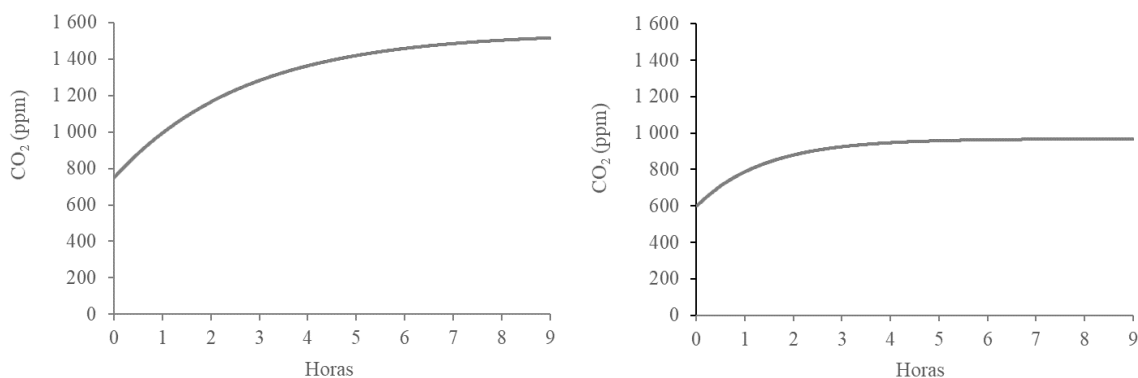


Figura 92 – Curva teórica de CO<sub>2</sub> – esq. (grelha fechada) e dir. (grelha aberta).

Relativamente aos perfis médios criados, estes contemplaram os dados monitorizados num ano completo. Contudo, foram também avaliados outros períodos mais curtos de modo a perceber-se se a tendência observada se mantém. Na Figura 93 estão apresentados os perfis médios de quatro períodos distintos:

- 12 meses do período de monitorização;
- 3 meses de verão;
- 3 meses de inverno;
- 7 dias de inverno.

Como se pode observar, a tendência dos 4 perfis é idêntica. Contudo, no verão, é clara a existência de uma subida da temperatura anterior à ação de abertura das janelas perto das 9h da manhã. Esta situação é menos notória nos outros períodos. No caso do perfil de 7 dias aleatórios da estação de inverno, existem poucas diferenças deste para o perfil de toda a estação de inverno.

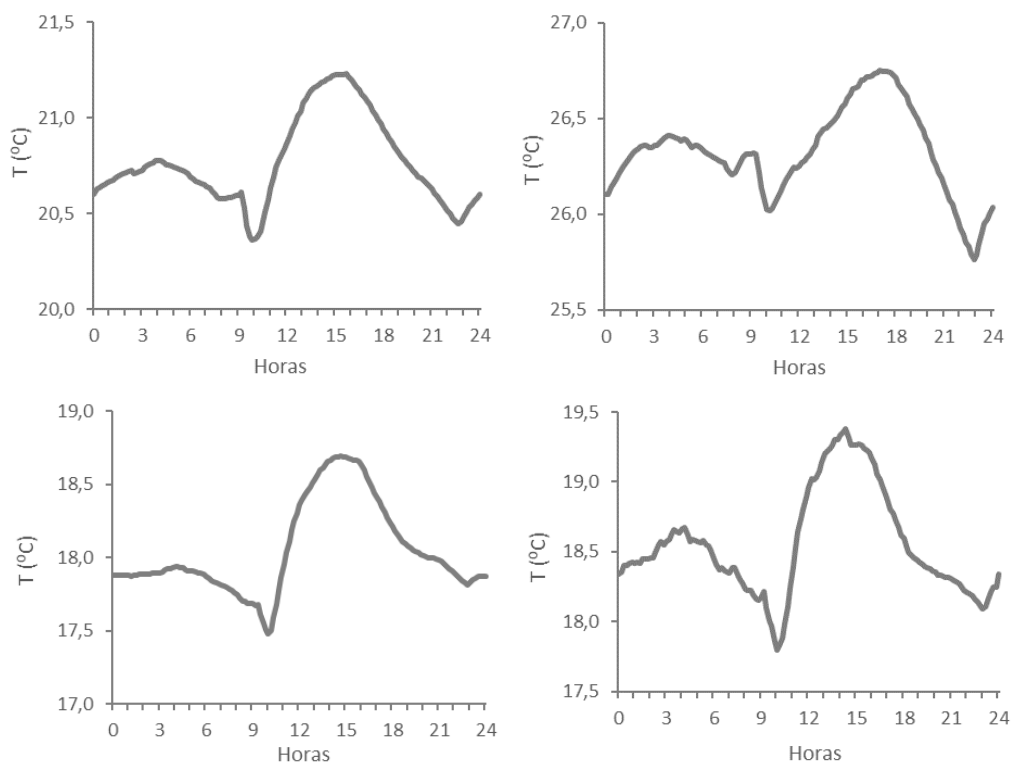


Figura 93 – Perfis de temperatura média no compartimento R1 referente a diferentes períodos – 12 meses (superior esq.); 3 meses verão (superior dir.); 3 meses de inverno (inferior esq.); e 7 dias inverno (inferior dir.).

#### 4.4. DISCUSSÃO E SÍNTESE DO CAPÍTULO

As ações dos ocupantes de edifícios residenciais podem ser correlacionadas com os impactos que essas ações têm no ambiente interior utilizando-se os coeficientes de Spearman ( $\rho$  de Spearman -  $\rho$ ). Os coeficientes de Spearman são os mais aconselhados para relacionar variáveis categóricas com variáveis contínuas cuja distribuição não é normal. Contudo, neste tipo de estudos, para se conseguir um coeficiente de Spearman elevado é necessário tratar os dados monitorizados de modo a que se consiga correlacionar as ações com os impactos. Este tratamento dos dados monitorizados passa por se considerar a variação dos parâmetros monitorizados entre intervalos de medição sucessivos. Assim, a correlação que se testa através do coeficiente de Spearman é a ocorrência de ações com a variação dos parâmetros monitorizados no interior nos instantes posteriores à sua ocorrência. Contudo, a existência de diversas ações a impactar os parâmetros interiores monitorizados, apresenta-se como mais uma razão para não ser espetável encontrarem-se coeficientes de correlação muito elevados de acordo com a classificação de Hinkle, Wiersma, e Jurs (2003) e como demonstrado por um estudo dos autores Herkel, Knapp, e Pfafferott (2008).

Uma vez que existe um conjunto de ações a ocorrer em simultâneo no edifício, é importante perceber quais os sensores que detetam os impactos específicos de cada ação, podendo recorrer-se a regressões lineares entre o mesmo parâmetro medido e diferentes sensores, percebendo-se assim se existe correlação entre os valores medidos. Esta estratégia possibilita também a hierarquização dos impactos em função da sua magnitude relativamente a uma ação. A hierarquização é possível devido à monitorização de parâmetros interiores através de sensores colocados em diferentes locais da fração em estudo e, como tal, localizados a diferentes distâncias do ponto onde ocorre a ação. Neste caso de estudo concreto foi possível perceber que o impacto das ações ficou circunscrito ao compartimento onde a ação

ocorreu tendo-se verificado diferenças elevadas entre os impactos medidos pelos sensores localizados perto do local de ocorrência das ações e os sensores mais afastados. Por exemplo, no caso da abertura de janelas no compartimento R1 verificou-se que o sensor localizado a cerca de 20cm do local onde ocorre a ação mediu impactos com uma magnitude cerca de 10 vezes superior à detetada por outro sensor distanciado a cerca de 2 metros deste e, como tal, da ação. Assim, considera-se que a existência de um único sensor por compartimento não é garantia de sucesso para o estudo do comportamento dos ocupantes. As singularidades encontradas para a mesma ação (abertura de janelas – A1 e A2) mas em diferentes compartimentos (quarto e instalação sanitária) da mesma fração habitacional indicam a necessidade de se monitorizar os impactos das ações em cada compartimento. Deste modo, considera-se importante a monitorização de todos os compartimentos onde ocorrem as ações dos ocupantes com maior impacto na habitação de modo a ser possível fornecer uma base de dados precisa aos sistemas de domótica. No mesmo sentido, o recurso a bases de dados generalistas do comportamento dos ocupantes de edifícios residenciais levará a funcionamentos deficientes dos sistemas de domótica e a simulações numéricas pouco precisas e realistas.

Através dos sensores de CO<sub>2</sub> é possível identificar a ocupação dos espaços e particularidades do sistema de ventilação de uma fração. No presente estudo foi possível determinar as renovações de ar por hora dos compartimentos, o estado de funcionamento do sistema de ventilação mecânica centralizada (VMC) e o estado das grelhas presentes no bocal de extração das instalações sanitárias.

A operação das grelhas de ventilação existentes na boca de extração das instalações sanitárias é também bastante importante nos valores de ambiência interior. Durante este estudo os ocupantes alteraram a sua política de abertura das bocas de extração das instalações sanitárias. Esta alteração (do estado fechado para aberto) permitiu a redução da concentração de CO<sub>2</sub> em cerca de 600 ppm no valor da mediana no período noturno de ocupação noturna (0:00 às 9:00, aproximadamente). Por outro lado, foi demonstrado que o modo de operação dos equipamentos de VMC tem impactos muito relevante no ambiente interior das habitações. No presente caso de estudo, caso a VMC não fosse desligada durante o período das 3 às 6, no qual existe ocupação no compartimento R1, as concentrações máximas de CO<sub>2</sub> não ultrapassariam os 1000 ppm ao contrário dos cerca de 1600 ppm que atingem com a política imposta pela administração do condomínio. Verificou-se ainda que, nos dias com a casa desocupada, quando a VMC desliga, a tendência observada até a esse instante da evolução da pressão parcial de vapor de água (P) muda de descendente para ascendente. Ao nível do CO<sub>2</sub> observa-se também uma evolução positiva da sua concentração no período em que a VMC está desligada. Deste modo, é possível concluir que o ato de desligar a VMC em edifícios multifamiliares leva à comunicação de ar entre frações sobrejacente e subjacente.

A criação dos perfis tipo da evolução dos parâmetros monitorizados do caso em estudo permitiu observar que existe uma tendência de base dos perfis que é possível obter nos dias onde não existe ocupação. Contudo, a ocupação e mais concretamente os impactos das ações efetuadas pelos ocupantes modificam drasticamente estes perfis base. Assim, considera-se que a metodologia de criação de perfis dos ocupantes é essencial para o correto funcionamento de um sistema avançado de domótica. No caso em estudo conseguiu-se criar perfis que poderão ser incluídos num sistema de domótica deste caso de estudo de modo a otimizar o funcionamento da habitação ao nível do conforto térmico, qualidade do ar e eficiência energética. Não se considera pertinente a replicação deste estudo a diversos casos de estudo como forma de validar a metodologia seguida uma vez que cada habitação conduzirá a um perfil de ocupação diferente que só interessa conhecer pelo próprio sistema de domótica. A informação criada nestes perfis de ocupação permite aos sistemas de gestão da fração distinguir um dia sem ocupação dos dias com ocupação assim como a deteção das ações e, consoante a estação do ano, perceber quais os impactos que esta ação irá ter e o que será preciso para compensar os seus efeitos negativos.

Foi observada a existência de uma variação considerável dos perfis de ocupação ao longo do ano de monitorização, contudo a tendência do perfil pouco de alterou. Um perfil construído em apenas 7 dias foi suficiente para apresentar valores e tendências semelhantes ao perfil da estação do ano a que pertencem.



# 5.

## MOTIVAÇÕES DAS AÇÕES DOS OCUPANTES

### 5.1. ESTRATÉGIA DA ANÁLISE DAS MOTIVAÇÕES DOS OCUPANTES

O estudo das motivações dos ocupantes dos edifícios afigura-se de grande importância como forma de prever o seu comportamento. Esta capacidade de previsão é especialmente útil para ser introduzida nos algoritmos de programação dos sistemas de domótica dos edifícios de modo a que o sistema consiga compreender as razões que levam os ocupantes de cada habitação a tomar determinadas ações ou a assumir determinados estados. Este conhecimento pode ser usado para substituir as ações dos ocupantes ou para preparar a habitação para antecipar as ações/estados dos ocupantes.

Neste capítulo pretende-se identificar e hierarquizar as motivações para o início e fim das ações que se indicam de seguida:

- Abertura das janelas (R1) – ação A1;
- Abertura das janelas (W1) – ação A2;
- Abertura das janelas (R2) – ação A7;
- Abertura das janelas (W2) – ação A8;
- Abertura das janelas (LR) – ação A9;
- Abertura das persianas (R1) – ação A10;
- Abertura das persianas (R2) – ação A11;
- Abertura das persianas (LR) – ação A12;
- Ato de aquecer (LR) – ação A5.

Como potenciais motivações para o início das ações consideraram-se os parâmetros medidos no interior e no exterior da fração habitacional e as ações registadas nos instantes anteriores à ocorrência das ações cujas motivações se pretendem detetar. Indicam-se abaixo as potenciais motivações consideradas, tendo em conta a revisão da literatura efetuada (Figura 15) e o âmbito desta tese relacionado com a higrotérmica:

- Parâmetros medidos no exterior – temperatura exterior; radiação solar; precipitação; velocidade do vento e direção do vento;
- Parâmetros medidos no interior – temperatura interior e excesso de pressão;
- Ações/estados provenientes dos registos dos ocupantes – período do dia (dia/noite); Ocupação (está ocupado ou não); Mudança do estado de ocupação (de ocupado para desocupado); Ocorrência banho (tomou banho na hora anterior).

Das potenciais motivações apresentadas para o início da ação, apenas os parâmetros medidos no exterior e interior são numéricos contínuos sendo os restantes categóricos, binários. Ao nível das variáveis categórica, foi utilizada a nomenclatura indicada na Tabela 29.

Tabela 29 – Nomenclatura das variáveis categóricas.

Ações / Estados	Código binário	Significado
Período do dia (PD)	1	Referente ao período diurno das 8 às 20
	0	Referente ao período noturno das 20 às 8
Estado de ocupação (O)	1	Compartimento com ocupação na maioria do período considerado. Foram considerados períodos de 4 horas.
	0	Compartimento sem ocupação na maioria do período considerado. Foram considerados períodos de 4 horas.
Mudança de ocupação (MO)	1	Mudança do estado de ocupação entre o período anterior e o em questão. Foram considerados períodos de 4 horas.
	0	Não existiu mudança do estado de ocupação entre o período em questão e o anterior.
Ocorrência de banho (Ban)	1	Verificou-se a ocorrência de banho no período anterior ao considerado. Foram considerados períodos de 4 horas.
	0	Não se verificou a ocorrência de banho no período anterior ao considerado. Foram considerados períodos de 4 horas.
Ação nas janelas (Jan)	1	A janela está aberta.
	0	A janela está fechada.
Ação nas persianas (Pers)	1	A persiana está aberta.
	0	A persiana está fechada.
Ação no aquecimento (Aq)	1	O aquecimento está ligado.
	0	O aquecimento está desligado.

No caso da duração das ações prolongadas (p.e. o estado das persianas) consideraram-se como potenciais motivações a média dos parâmetros medidos (somatório no caso da precipitação) por dia e o somatório das durações das ações registadas, que se indicam abaixo:

- Parâmetros medidos no exterior – temperatura exterior; radiação solar; precipitação; velocidade do vento e direção do vento;
- Parâmetros medidos no interior – temperatura interior e excesso de pressão;



- Ações/estados provenientes dos registos dos ocupantes – Duração da ocupação; Duração do banho.

As potenciais motivações apresentadas para a duração das ações são todas variáveis numéricas contínuas.

No presente capítulo foram utilizados os sensores indicados na Figura 94. Complementarmente, foram também usados dados da estação meteorológica do Departamento de Proteção Civil da Câmara Municipal do Porto, descrita no subcapítulo 3.6. Tendo por base os parâmetros monitorizados de temperatura (T) e humidade relativa (HR), foram calculadas as pressões de vapor de água (P) e a diferença de pressão entre o interior e o exterior ( $\Delta P$ ).

No período de monitorização considerado, foi solicitado aos ocupantes o preenchimento de registos diários onde se pediu a indicação dos momentos de ocorrência das ações, acima indicadas, cujas motivações se pretendem detetar.

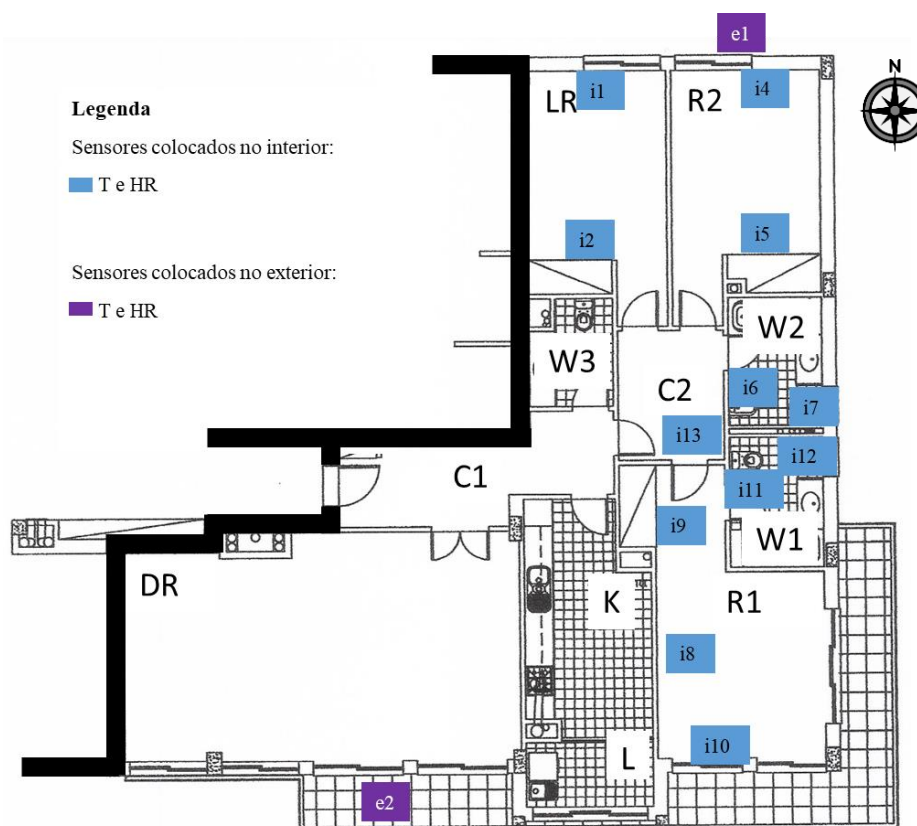


Figura 94 – Sensores utilizados no estudo do capítulo 5.

Apresenta-se na Figura 95 os box plot da temperatura, pressão parcial de vapor de água e do excesso de pressão de vapor de água nos valores médios obtidos através dos sensores presentes em cada um dos compartimentos do caso de estudo. Na Figura 96 indica-se a duração por dia (em horas) das ações/estados obtidos através dos registos diários preenchidos pelos ocupantes do caso de estudo. A ocorrência das ações ao longo do ano está apresentadas na Figura 97 sob a forma da duração total diária das ações em horas durante o ano em estudo.

A análise da Figura 95 permite observar o seguinte:

- Não existem grandes diferenças nos valores médios da temperatura registada nos sensores presentes nos compartimentos LR, R2, W2, R1 e W1. Contudo é possível observar-se que comparando os compartimentos com disposições solares idênticas (LR e R2) o compartimento LR possui valores de temperatura superiores nos quartis 1, 2 e 3;
- Relativamente à pressão parcial de vapor de água e ao excesso de pressão face ao exterior, os compartimentos também apresentam valores similares com exceção dos valores atípicos superiores do compartimento W1 e W2 e R1 e os valores atípicos inferiores nos compartimentos LR, R2 e W2;

Através da Figura 96 e da Figura 97 evidencia-se o seguinte:

- Os compartimentos R1 e W1 são aqueles cuja média da duração da abertura das janelas mais se afasta dos valores próximos de 0. Contudo, a abertura das janelas no compartimento R1 é em geral a mais curta. No compartimento R2 é onde se verifica um quartil 3 mais elevado, seguindo-se o compartimento W1;
- A abertura das persianas apresenta um padrão similar nos três compartimentos analisados, R1, R2 e LR;
- O aquecimento na fração LR é em mediana reduzido, tendo em conta todo o ano considerado, contudo apresenta um quartil 3 com valores de 5 h e valores máximos de 14 h;
- O compartimento que apresenta maior número de horas de ocupação é o compartimento com ocupação noturna, o R1, seguindo-se o compartimento LR, sendo só valores do compartimento R2 praticamente nulos devido à sua reduzida ocupação;
- Ao nível das horas de banho, evidencia-se que o compartimento W1 é aquele com maior uso para banhos, sendo a utilização do compartimento W2 para esse fim mais reduzida.

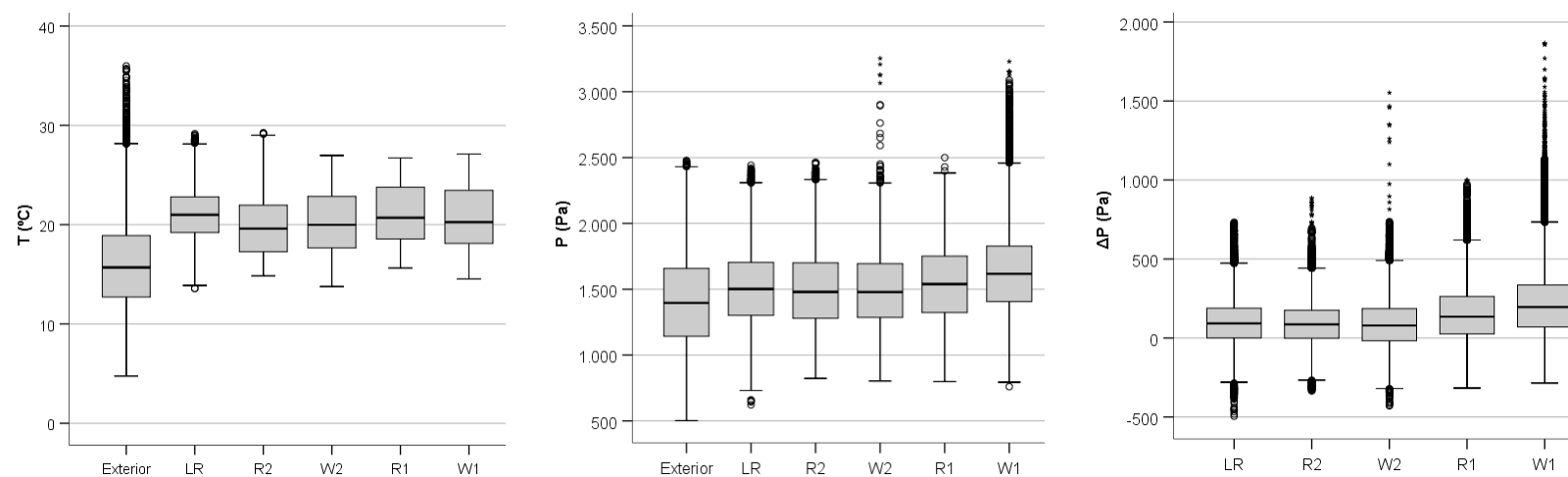


Figura 95 – Box-plots dos parâmetros monitorizados.

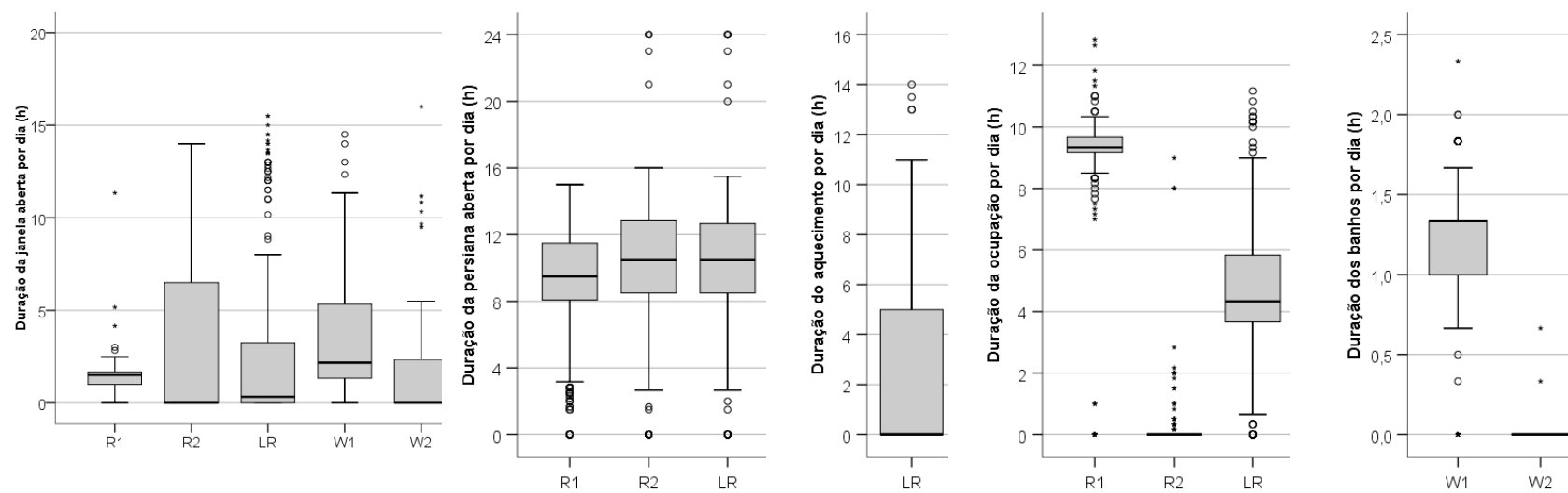


Figura 96 – Box-plots das ações/estados obtidos pelos registos dos ocupantes.

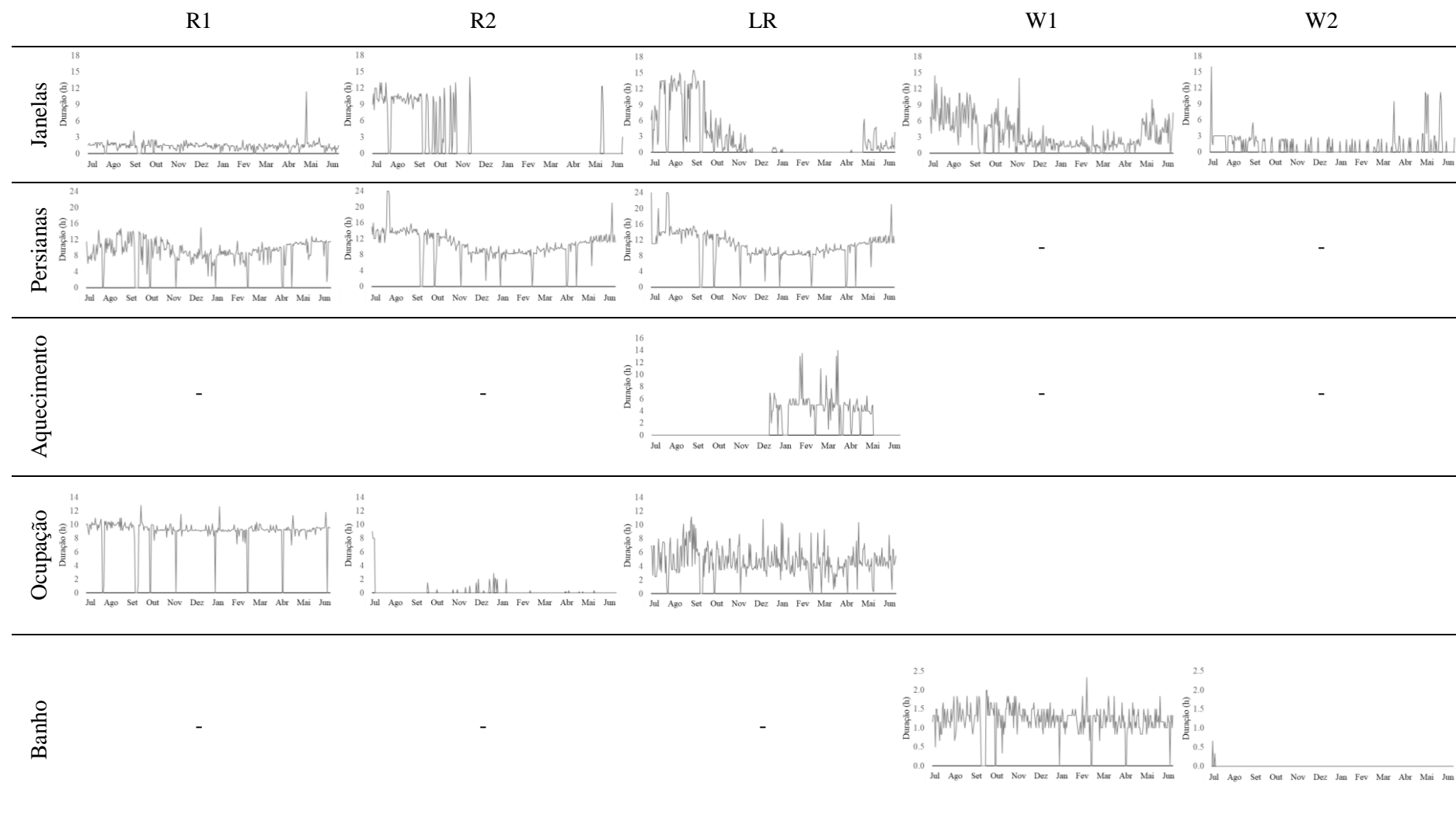


Figura 97 – Duração total diária das ações (h) ao longo do ano de estudo.

## 5.2. METODOLOGIA DE IDENTIFICAÇÃO E HIERARQUIZAÇÃO DAS MOTIVAÇÕES

Os dados monitorizados antes da ocorrência do evento foram usados para identificar e hierarquizar as motivações de cada ação (Figura 7).

A identificação das motivações dos ocupantes para executarem as ações supracitadas seguiu a metodologia indicada na Figura 98. Na fase de pré processamento, os dados do sistema de monitorização e dos registos diários dos ocupantes foram organizados numa única base de dados, de modo a que cada uma das ações alvo de estudo se pudessem correlacionar com os parâmetros ou outras ações que tenham ocorrido em instantes anteriores.

As matrizes de correlação foram utilizadas para se obter uma relação entre as motivações e as ações dos ocupantes dos edifícios através da sua correlação. Esta estratégia já tinha sido seguida por Herkel, Knapp, e Pfaffertott (2008), tendo os autores usado o coeficiente de Pearson para estabelecer as correlações. No presente estudo, uma vez que existem variáveis categóricas, optou-se por utilizar o mesmo princípio, mas o coeficiente utilizado para a correlação foi o coeficiente ( $\rho$ ) de Spearman de acordo com o indicado em (Lehman et al. 2013) devido à inexistência de normalidade dos parâmetros utilizados e ao facto de se tratarem de variáveis categóricas. O  $\rho$  de Spearman foi assim utilizado para hierarquizar a correlação das motivações e para identificar a existência de colinearidade entre os diferentes parâmetros e ações. Este processo de identificação da colinearidade entre os diferentes parâmetros é importante para se evitar considerar como motivação uma série de parâmetros fortemente relacionados entre si. Os modelos de previsão foram desenvolvidos através de regressões logísticas. Foi então possível estabelecer uma probabilidade de ocorrência de uma ação em função de variáveis categóricas ou contínuas que foram identificados como motivações. As regressões logísticas servem por si só para verificar a existência correlação entre ações e as motivações através da significância estatística (p-value), da comparação do valor de  $\beta$  (ver equação (2)) e do impacto da variação do valor/categoria da motivação (odds ratio). Contudo, não é possível verificar a colinearidade entre as motivações, optando-se por realizar primeiro uma triagem das motivações através das matrizes de correlação.

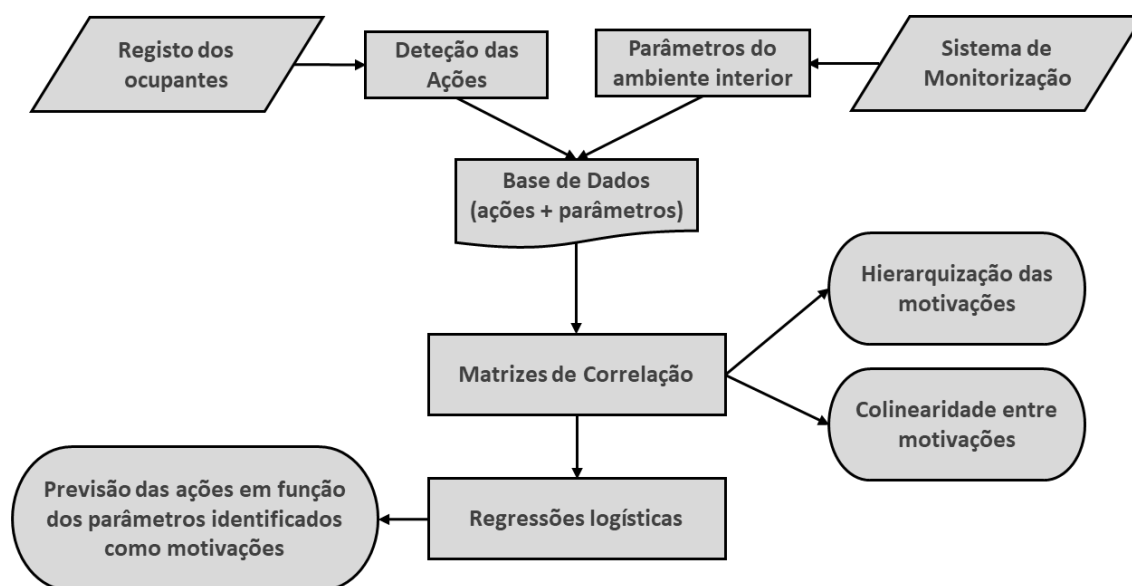


Figura 98 – Metodologia utilizada no estudo.

### **5.3. TRATAMENTO DE DADOS**

Os resultados deste estudo e a sua discussão foram organizados em 2 subcapítulos:

- Motivação das ações;
- Previsão da ocorrência das ações.

No primeiro subcapítulo pretende-se identificar e hierarquizar as motivações para as ações. As motivações que levaram os ocupantes a executarem as ações podem ser estudadas a dois níveis: as motivações que levaram os ocupantes a iniciar a ação e as motivações para a terminarem, avaliando-se neste último nível a motivação em função da duração da ação.

No segundo subcapítulo desenvolvem-se modelos de previsão para as ações dos ocupantes em função das suas motivações.

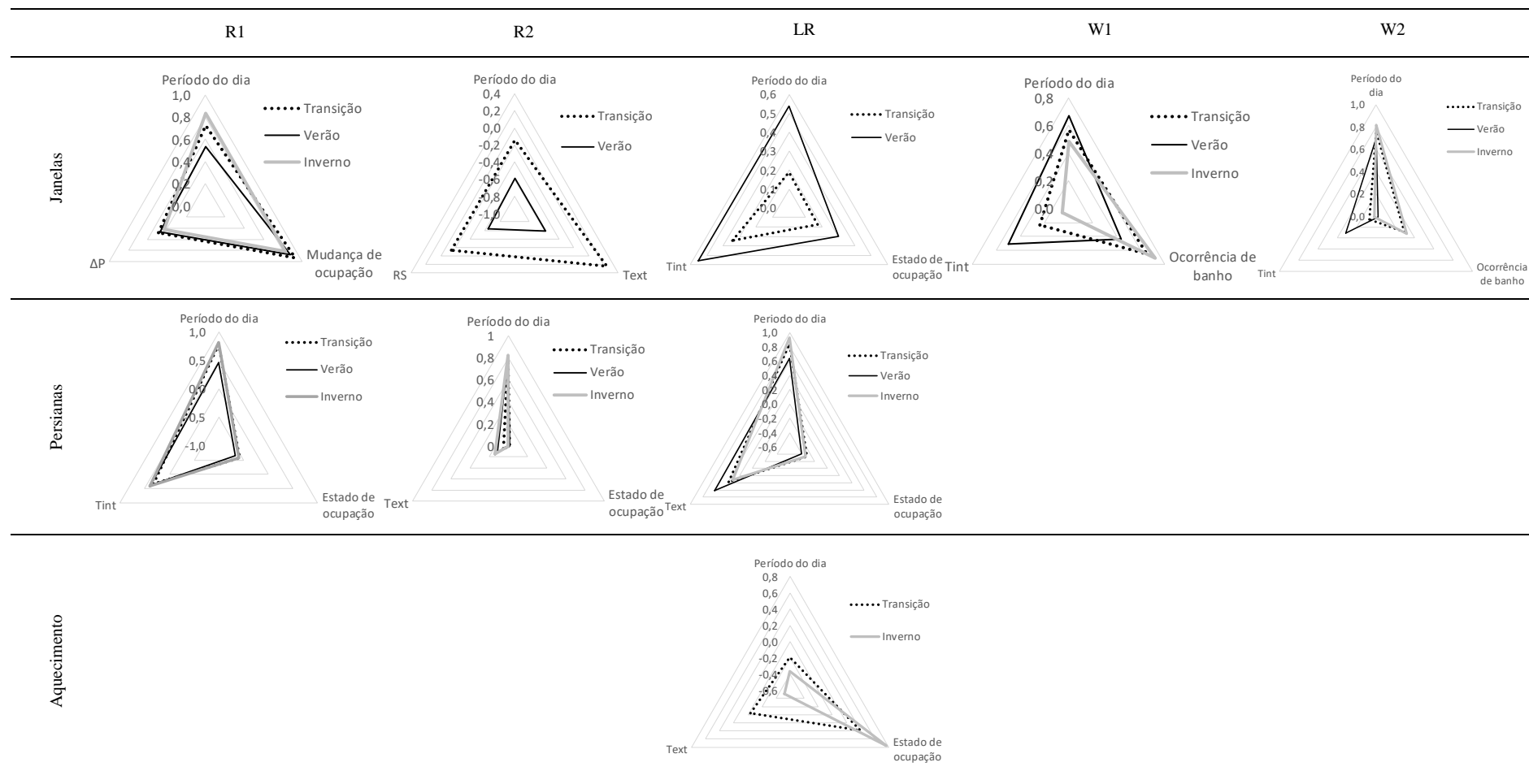
#### **5.3.1. MOTIVAÇÃO DAS AÇÕES**

##### **5.3.1.1. Motivações para o início da ação**

Como indicado por Herkel, Knapp, e Pfafferott (2008), existe uma grande alteração do comportamento dos ocupantes entre o verão e o inverno. De modo a ser possível estudar as variações das motivações dos ocupantes entre as diferentes estações segmentaram-se os dados em quatro períodos: verão (julho e agosto), inverno (janeiro e fevereiro), período de transição (restantes meses) e o total (12 meses de monitorização). Apenas se fez esta segmentação pelos quatro períodos nas ações cuja ocorrência foi verificada durante todo o ano: Janelas dos compartimentos R1, W1 e W2 e Persianas dos compartimentos R1, R2 e LR. Nas ações cuja ocorrência não é anual, não se estudam os períodos onde não ocorreram as ações: Janelas nos compartimentos R2 e LR (só verão e período de transição) e Aquecimento no compartimento LR (só inverno e período de transição). Os coeficientes de correlação de Spearman obtidos, divididos por 3 períodos (verão, inverno e meses de transição) estão apresentados na Tabela 30 sob a forma de gráficos de radar. A análise dos coeficientes de correlação apresentados na Tabela 30 teve em conta a nomenclatura das variáveis categóricas binárias apresentadas na Tabela 29.

Apesar de se terem considerado diversos parâmetros como hipotéticas motivações, como indicado no subcapítulo 5.1, foram encontradas colinearidades e correlações sem significância estatística. Os parâmetros da velocidade do vento (VV), direção do vento (DV) e precipitação (Pr) foram excluídos das potenciais motivações por não terem apresentado significância estatística com qualquer ação. O estado “Ocupação” (haver ocupação ou não no compartimento), a “Mudança Ocupação” (mudança do estado de ocupação) e o “Período do dia” (dia ou noite) apresentam geralmente uma forte colinearidade, tendo-se apenas apresentado o valor do  $\rho$  de Spearman daquele cujo valor absoluto é maior. Do mesmo modo, o parâmetro da radiação solar (RS) e o “Período do dia” apresentam quase sempre uma forte colinearidade. Relativamente aos parâmetros interiores de temperatura (T), humidade relativa (HR) e pressão parcial de vapor de água (P), estes apresentam sempre uma forte colinearidade pelo que apenas se optou por apresentar o valor da temperatura e do excesso de pressão ( $\Delta P$ ). A ação “Banho” só foi correlacionada com as ações nos compartimentos W1 e W2.

Tabela 30 – Coeficientes de correlação de Spearman para os três períodos definidos.



A análise dos coeficientes de correlação de Spearman obtidos e apresentados na Tabela 30 possibilita as seguintes observações:

- Ação A1 (Abertura de janelas no compartimento R1) - Observa-se uma variação dos coeficientes de correlação em função do período do ano relativamente à correlação entre a ação e o período do dia. No verão a correlação é de cerca de 0,5 e no resto do ano é superior a 0,7. Deste modo considera-se que a abertura das janelas ocorre quando há uma mudança do estado de ocupação, com um excesso de pressão interior elevado e durante o período diurno, embora, durante o verão possa haver períodos noturnos de janela aberta;
- Ação A2 (abertura de janelas no compartimento W1) – é possível observar que a correlação com o período do dia é diferente ao longo do ano, sendo superior no verão face ao inverno. Contudo, ao nível da correlação com a temperatura interior observa-se que a correlação positiva aumenta no período do verão, sendo moderada e torna-se desprezável no inverno. Tendência oposta é encontrada na correlação com a ocorrência prévia de banho, no verão a correlação positiva diminui e a correlação positiva aumenta no inverno. Deste modo considera-se que no verão a janela é aberta no período diurno quando a temperatura interior é mais elevada e também após a ocorrência da ação de tomar banho. No inverno, esta ação ocorre também no período diurno, mas apenas após a ocorrência da ação de tomar banho;
- Ação A7 (abertura de janelas no compartimento R2) – observa-se apenas correlação no período de verão. A abertura da janela é efetuada essencialmente no período noturno, quando não há radiação solar e quando a temperatura é mais baixa. Considera-se por isso que a abertura desta janela é utilizada para o chamado arrefecimento noturno da habitação;
- Ação A8 (abertura de janelas no compartimento W2) – observam-se algumas diferenças nas correlações entre os diferentes períodos do ano considerados. Com exceção do período do dia as correlações são reduzidas ou desprezáveis. A correlação entre a ação e a temperatura interior só é relevante no verão, sendo nos restantes períodos do ano inferior a 0,3 e por isso desprezável. A correlação com o banho só é relevante no inverno, sendo nos restantes períodos do ano desprezável. Assim, apesar do valor reduzido das correlações induzir alguma incerteza, considera-se que a ação de abertura de janelas no compartimento W2, ocorre durante o dia, e após a existência de banho no inverno, enquanto no verão também poderá estar relacionada com a ventilação natural da habitação;
- Ação A9 (abertura de janelas no compartimento LR) – existem diferenças claras no valor das correlações entre o verão e os outros períodos do ano, sendo que apenas no verão existem correlações moderadas. Assim considera-se que no verão a abertura da janela ocorre quando há ocupação, durante o período diurno e quando a temperatura interior é mais elevada;
- Ação 10 (abertura de persiana no compartimento R1) – Observa-se uma variação dos coeficientes de correlação em função do período do ano relativamente à correlação entre a ação e o período do dia. No verão a correlação é inferior a 0,5 e no resto do ano é de cerca de 0,8. Deste modo considera-se que a persiana está aberta apenas quando não há ocupação no compartimento e no período diurno, embora no verão possa haver períodos com a persiana fechada durante o dia;
- Ação 11 (abertura de persiana no compartimento R2) – A alteração dos coeficientes de correlação com valor relevante não ocorre nos quatro períodos diferentes do ano. Assim considera-se que a persiana está aberta durante o dia;
- Ação 12 (abertura de persiana no compartimento LR) – existe uma pequena alteração das correlações da persiana no verão face aos restantes períodos. Considera-se que nos restantes períodos a persiana é essencialmente aberta durante o dia, sendo que normalmente não há



ocupação nesse compartimento. No verão existem períodos onde a persiana está fechada durante o dia;

- Ação 5 (aquecimento no compartimento LR) – observa-se que o aquecimento ocorre maioritariamente quando há ocupação no compartimento. No inverno pode-se afirmar que existe uma correlação negativa entre a ação de ligar o aquecimento com a temperatura exterior.

Uma ação em que não se verificou uma colinearidade muito elevada entre o período do dia e a radiação solar foi a A10 - relativamente às persianas do compartimento R1. Nas estações inverno, outono e primavera existe uma correlação elevada com a radiação solar, no entanto tal não se verifica no verão. No verão, o período do dia continua a ser a principal motivação, mas a radiação solar apresenta uma correlação muito inferior. De modo a avaliar-se a razão da diminuição da correlação com a radiação solar apenas se considerou os períodos do dia com luz solar (8:00 até às 20:00). Assim, encontrou-se uma correlação elevada negativa entre a ação de abrir a persianas com a radiação solar (-0,51) e uma correlação negativa moderada (-0,39) com a temperatura exterior na estação do verão. No inverno, outono e primavera, a correlação positiva manteve-se, apesar de menos elevada uma vez que se retirou a parte noturna onde as persianas estão fechadas e a temperatura é mais baixa e a radiação nula. Desde modo pode-se concluir que no verão, quando a radiação solar e a temperatura exterior são elevadas, os ocupantes utilizam as persianas para sombrear os vãos envidraçados. No inverno outono e primavera, as persianas durante o dia estão abertas, enquanto há radiação solar.

Em função dos coeficientes de Spearman indicados na Tabela 30, apresenta-se na Tabela 31 a hierarquização das motivações que se consideraram relevantes. Na tabela não foram incluídos parâmetros com elevada colinearidade entre si.

Tabela 31 – Hierarquização das motivações para o início das ações estudadas.

Ações / compartimento		1º				2º				3º			
		Total	Ver.	Inv.	Trans.	Total	Ver.	Inv.	Trans.	Total	Ver.	Inv.	Trans.
Janelas	R1	MO	MO	MO	MO	PD	PD	PD	PD	*	*	*	*
	R2	*	RS	-	*	*	PD	-	*	*	Text	-	*
	LR	Tint	Tint	-	Tint	*	PD	-	*	*	O	-	*
	W1	Ban	PD	Ban	Ban	PD	Tint	PD	PD	*	Ban	*	*
	W2	PD	PD	PD	PD	*	Tint	Ban	*	*	*	*	*
Persianas	R1	PD	O	PD	PD	O	PD	O	O	Tint	Tint	Tint	Tint
	R2	PD	PD	PD	PD	*	*	*	*	*	*	*	*
	LR	PD	PD	PD	PD	O	O	O	O	*	*	*	*
Aquecimento	LR	O	-	O	O	*	-	Text	*	*	-	*	*

MO – Mudança do estado de ocupação  
PD – Período do dia  
Ban – Ocorrência prévia da ação de tomar banho  
Text – Temperatura exterior  
Tint – Temperatura interior  
O – Estado de ocupação  
Ver. – Período do ano de verão  
Inv. – Período do ano de inverno  
Trans. – Período do ano correspondente aos meses de outono e primavera

\* não existiu nenhum parâmetro com correlação significativa ( $\geq |0,30|$ )

- esta ação não ocorreu durante este período

### 5.3.1.2. Motivações para o fim/duração da ação

Identificadas as motivações que estão por trás do início das ações de abertura de persianas e janelas e início do aquecimento estuda-se neste capítulo as motivações que estão na origem do seu término. Esta análise será feita tendo por base o somatório da duração das ações por dia.

Por analogia com o efetuado para a identificação das motivações dos ocupantes para o início das ações, foram obtidos os coeficientes de correlação de Spearman entre a duração das ações/estados de cada compartimento estudado e os parâmetros exteriores e interiores referentes aos respetivos compartimentos, tendo-se obtido os valores apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 – Coeficientes de Spearman obtidos para a relação da duração das ações com os parâmetros.

	Te	HRe	VV	DV	Pr	RS	Ti#	$\Delta P_i$ #
A1	0,199**	-0,167**	-0,196**	-0,065	-0,200**	0,201**	0,235**	0,041
A7	0,738**	-0,285**	-0,243**	0,188**	-0,320**	0,470**	0,707**	-0,247**
A9	0,813**	-0,287**	-0,181**	0,200**	-0,288**	0,507**	0,760**	-0,335**
A2	0,622**	-0,330**	-0,172**	0,118*	-0,331**	0,542**	0,599**	-0,101
A8	0,362**	-0,179**	-0,103	0,117*	-0,225**	0,392**	0,346**	-0,142**
A10	0,232**	-0,057	-0,008	0,096	-0,054	0,267**	0,214**	0,067
A11	0,574**	-0,246**	-0,054	0,216**	-0,224**	0,630**	0,649**	-0,142**
A12	0,626**	-0,248**	-0,055	0,200**	-0,221**	0,567**	0,630**	-0,212**
A5	-0,677**	0,252**	0,281**	0,026	0,345**	-0,390**	-0,543**	0,219**

\*\* A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral).

\* A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral).

# parâmetros interiores obtidos no compartimento onde ocorreram as ações

Como pode ser observado na Tabela 32, os parâmetros da temperatura exterior (Te), temperatura interior (Ti) e radiação solar global (RS), são aqueles que apresentam correlação mais elevada com a duração das ações. Das ações apresentadas, apenas a duração da abertura das janelas e persianas do compartimento R1 não apresentam correlação relevante com estes três parâmetros. Contudo, pode-se observar na Tabela 32 que estas ações não possuem correlação relevante com outros parâmetros.

De modo a perceber-se melhor a correlação entre os parâmetros e a duração das ações apresenta-se na Tabela 33 os gráficos com a apresentação da duração da abertura das janelas e a evolução da temperatura exterior ou da radiação solar global ao longo do ano de monitorização, em função daquele que apresentou maior coeficiente de Spearman, em valor absoluto. O parâmetro da temperatura interior não foi considerado uma vez que apresentou uma correlação muito elevada  $>0,9$  com a temperatura exterior. Os parâmetros Te e RS apresentaram uma correlação de aproximadamente 0,5.

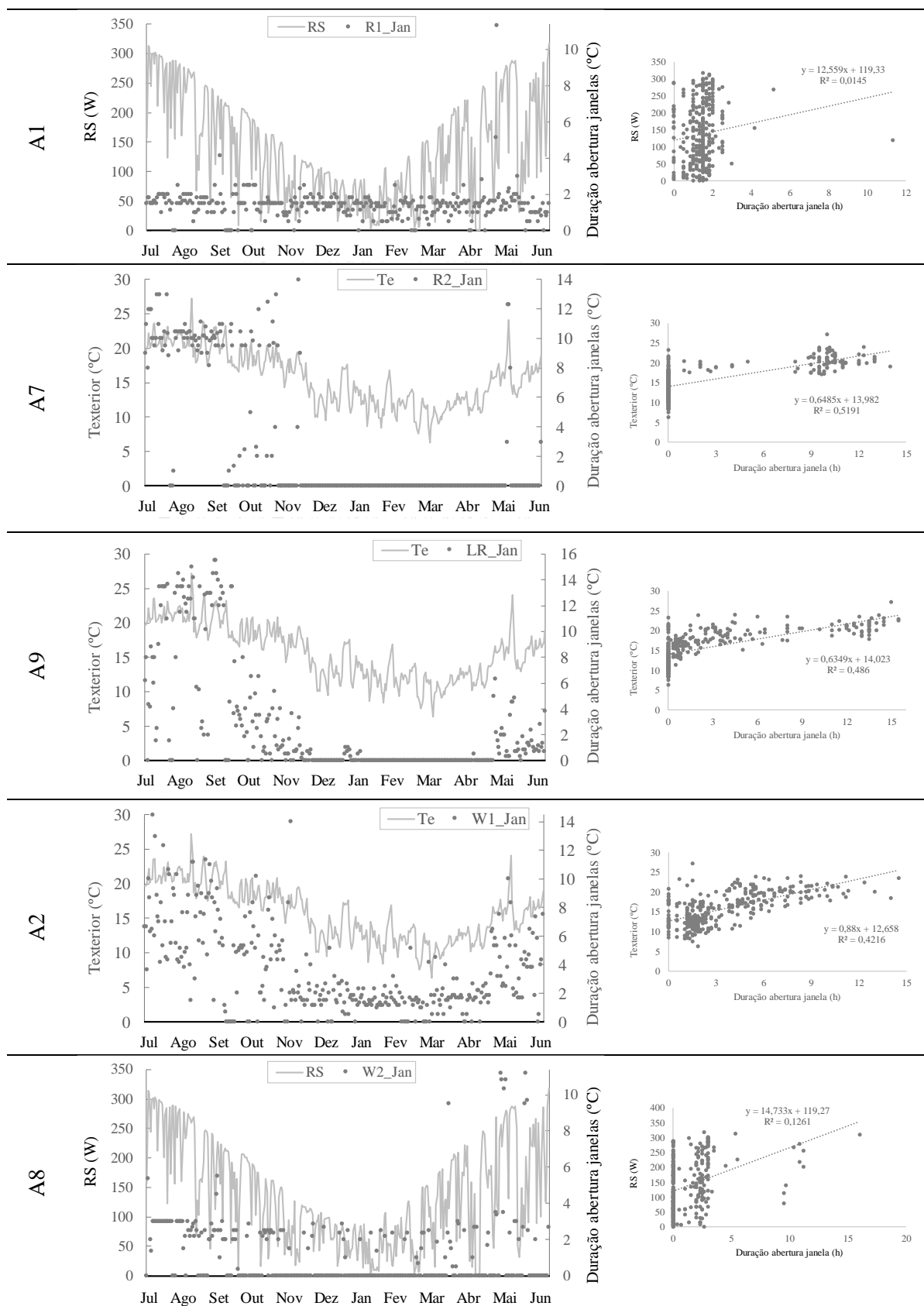
Relativamente às janelas, a partir da análise dos gráficos presentes na Tabela 33, observa-se o seguinte:

- Compartimento R1 - a duração da sua abertura é relativamente estável ao longo do ano. Na maioria dos dias a duração da abertura está concentrada entre 30 min e 120 min. Existem poucos dias onde a duração é superior a 120 min não se encontrando qualquer padrão destes dias excecionais com a temperatura exterior e a radiação solar. Deste modo pode-se indicar que a radiação solar não pode ser considerada como motivação para a duração da abertura da janela no compartimento R1;
- Compartimento R2 – como já tinha sido abordado, a ação de abertura de janelas neste compartimento não ocorre durante todo o ano. Deste modo, existe um número elevado de dias cuja duração é 0 h. Não se observa uma diminuição progressiva da duração da abertura das janelas em função da diminuição dos parâmetros da temperatura exterior. A partir de setembro, começam a existir alguns dias sem abertura alternados com dias em que a abertura atinge os valores mais elevados do ano monitorizado e durações intermédias. A partir de novembro até maio a duração permanece em 0 h, voltando a abrir-se num pico de temperatura exterior existente no mês de maio. A aproximação linear da correlação entre a temperatura exterior e a

duração da abertura das janelas resulta num  $R^2$  de 0,52. Considera-se que a temperatura exterior é a principal motivação para a permanência da janela aberta existindo uma correlação positiva entre ambos. A correlação com a radiação solar é menos evidente e estará relacionada com a colinearidade existente com a temperatura exterior ( $\rho=0,52$ );

- Compartmento LR – há semelhança com o verificado no compartimento R2, e como já abordado, a ação de abertura de janelas neste compartimento não ocorre durante todo o ano. É possível observar que nos períodos de maior temperatura exterior, a duração da abertura das janelas apresenta valores de abertura diários aproximados de 10 h sendo que nos períodos seguintes com o aumento da temperatura exterior a duração da abertura diária atinge valores de 16h. A partir de setembro, observa-se uma diminuição gradual da duração de abertura de janelas sendo que depois de novembro estas permanecem praticamente sempre fechadas até maio. Considera-se que a temperatura exterior é a principal motivação para a permanência da janela aberta durante grande parte do ano. O ajuste linear entre a temperatura exterior e a duração da abertura das janelas conduziu a um  $R^2$  de 0,49;
- Compartmento W1 – existe uma evolução da duração da abertura das janelas que acompanha a evolução da temperatura exterior ao longo do ano. Contudo, observa-se uma grande dispersão da duração da abertura nos meses mais quentes variando entre 2h a 14h. Nos meses mais frios a abertura da janela é visivelmente inferior variando entre 1h a 3h. Neste compartimento, obteve-se um ajuste linear entre a temperatura exterior e a duração da abertura das janelas que conduziu a um  $R^2$  de 0,42. Considera-se assim que a temperatura exterior é uma motivação para a permanência das janelas abertas;
- Compartmento W2 – apesar da abertura desta janela ter ocorrido durante todo o ano em estudo, existem diversos dias em que a duração da abertura foi de 0 h. Nos dias em que existiu abertura das janelas encontrou-se um padrão idêntico ao encontrado no compartimento R1. A duração da abertura encontrou-se maioritariamente perto das 2/3 h não tendo sido possível encontrar um padrão claro correlacionado com a temperatura exterior ou a radiação solar.

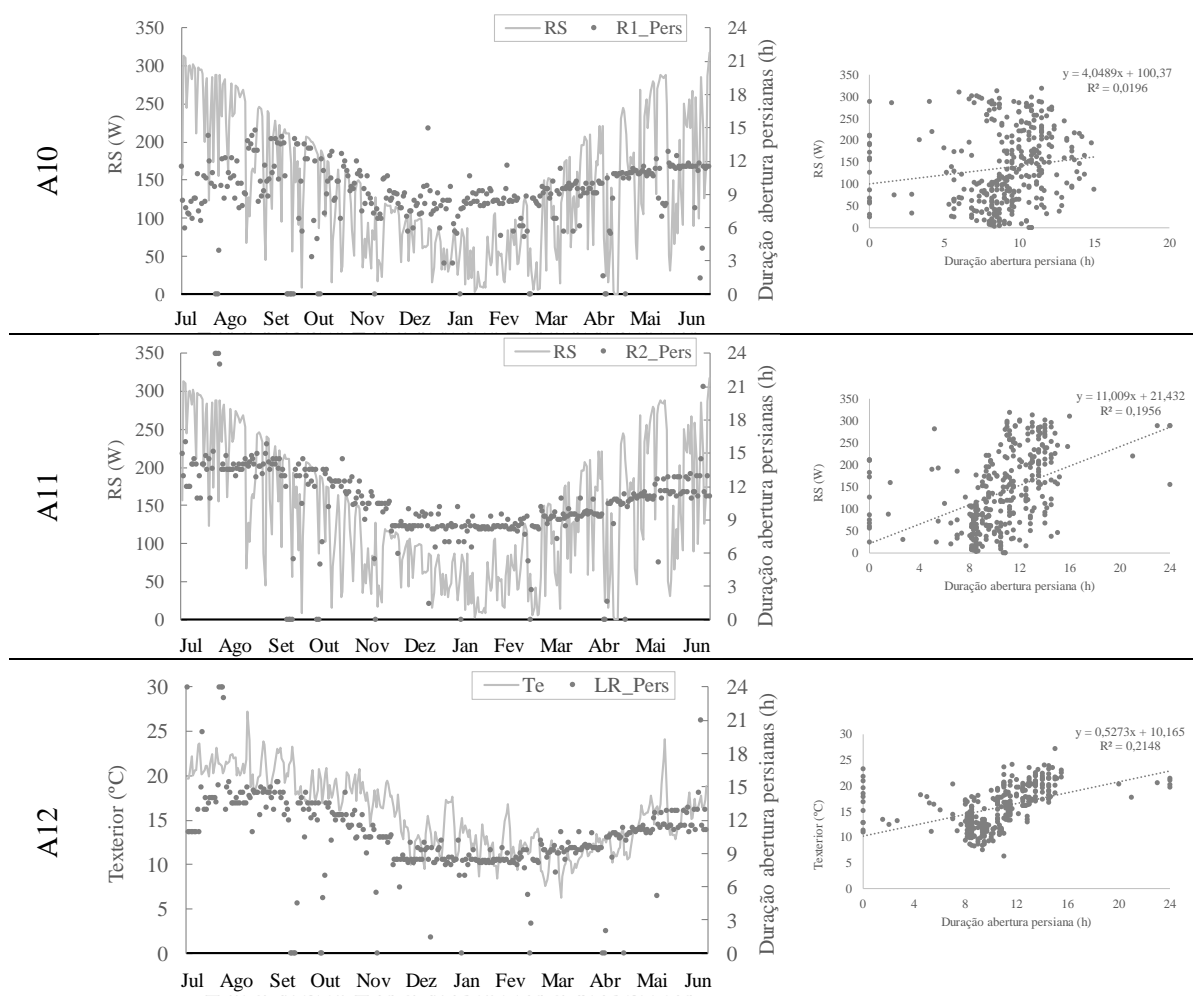
Tabela 33 – Correlações entre a duração da abertura das janelas e a temperatura exterior e radiação solar.



Relativamente às persianas, foi possível observar nos gráficos da Tabela 34 o seguinte, por compartimento:

- Compartimento R1 – como já indicado anteriormente, as motivações para a abertura das persianas variaram sazonalmente. Ao nível da duração da abertura das persianas, essa alteração também está, naturalmente, refletida. Existiu, essencialmente no mês de julho e agosto, uma duração de abertura das persianas entre as 6h e 12h, no período onde a radiação solar é superior seguindo-se um aumento das horas de abertura nos meses de setembro e outubro (entre 9h a 12h). Depois, verifica-se um decréscimo da duração do tempo de abertura das persianas com uma tendência semelhante ao observado para a temperatura exterior e a radiação solar até haver uma estabilização até março, subindo depois gradualmente à semelhança dos dois parâmetros exteriores. Deste modo considera-se a radiação solar como uma motivação para a duração das persianas apesar de não existir uma boa correlação quando considerada a série temporal completa devido à alteração sazonal das motivações;
- Compartimento R2 – é possível observar uma evolução da duração da abertura das persianas muito semelhante à evolução da radiação solar e da temperatura exterior. Uma vez que este compartimento possui os vãos envidraçados orientados a aproximadamente norte, considera-se como provável que a motivação para a duração da abertura seja a luz natural, nos meses mais frios/com menor radiação solar a duração é inferior e à medida que a luz natural aumenta também a temperatura exterior e a radiação solar;
- Compartimento LR – À semelhança com o observado no compartimento R2, encontra-se uma semelhança do padrão da duração da abertura das persianas com a evolução da temperatura exterior e da radiação solar. Nas persianas também foi observado o padrão identificado nas janelas deste compartimento, ou seja, em julho, quando a radiação solar é superior, a duração de abertura de persianas é inferior ao verificado em agosto, sendo que não existiu significativa variação da temperatura. Esta situação pode-se explicar pelo facto de existir incidência solar direta neste compartimento neste mês. Em junho, nas mesmas circunstâncias de radiação solar, a duração da abertura de janelas é semelhante à do mês de julho. Considera-se então que a radiação solar é a principal motivação para a duração da abertura das persianas apesar de existir uma variação não linear desta motivação.

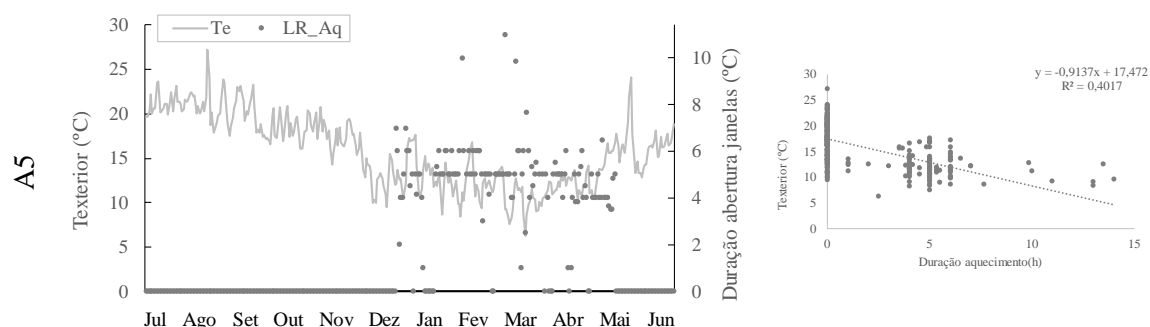
Tabela 34 – Correlações entre a duração das persianas e a temperatura exterior e radiação solar.



Relativamente ao aquecimento, foi possível observar no gráficos da Tabela 35 o seguinte:

- Compartmento LR – Apesar do ajuste linear conduzir a um  $R^2$  que indica uma certa tendência (0,4), devido ao facto do aquecimento só se ligar nos meses cuja temperatura exterior é mais baixa, não se consegue obter um padrão coincidente com o padrão da temperatura exterior, observando-se uma duração diária do aquecimento com algumas oscilações esporádicas e aleatórias sendo que, na maioria dos dias, a duração do aquecimento anda à volta das 5h.

Tabela 35 – Correlações entre a duração do aquecimento e a temperatura exterior.



### 5.3.2. PREVISÃO DAS AÇÕES DOS OCUPANTES

Tendo em conta os registos diários solicitados aos ocupantes da fração habitacional, é possível construir um modelo de previsão em função de regressões logísticas como citado no capítulo 5.2. No presente caso, para cada uma das ações estudadas nos cinco compartimentos foi obtida uma equação logística representando um modelo de previsão da abertura das janelas/persianas e início do aquecimento. Da equação logística resulta a probabilidade de início de ocorrência do evento. Na Tabela 36 apresenta-se o resumo dos modelos de previsão. Os valores de  $R^2$  de Cox & Snell e de Nagelkerke, “p-value”, “odds rate” e percentagem de sucesso global do modelo de previsão estão apresentados na Tabela 37.

Tabela 36 – Resumo dos modelos de previsão.

Compartimento	Ação		
	Abrir Janela	Abrir Persiana	Ligar Aquecimento
R1	Equação (28)	Equação (33)	-
W1	Equação (29)	-	-
R2	Equação (30)	Equação (34)	-
W2	Equação (31)	-	-
LR	Equação (32)	Equação (35)	Equação (36)

$$p(A_1) = \frac{\exp(-4,273 + 5,459X_1 + 0,004X_2 + 3,991X_3)}{1 + \exp(-4,273 + 5,459X_1 + 0,004X_2 + 3,991X_3)} \quad (28)$$

Onde:

$A_1$  – Abertura das janelas no compartimento R1

$X_1$  – Mudança do estado de ocupação (binário)

$X_2$  – Excesso de pressão de vapor de água no interior –  $\Delta P$  (Pa)

$X_3$  – Período do dia (binário)



$$p(A_2) = \frac{\exp(-7,067 + 2,607X_3 + 0,213X_4 + 3,686X_7)}{1 + \exp(-7,067 + 2,607X_3 + 0,213X_4 + 3,686X_7)} \quad (29)$$

Onde:

$A_2$  – Abertura das janelas no compartimento W1

$X_4$  – temperatura exterior (°C)

$X_7$  – Existência prévia de Banho (binário)

$$p(A_7) = \frac{\exp(-15,640 - 2,175X_3 + 0,694X_4)}{1 + \exp(-15,640 - 2,175X_3 + 0,694X_4)} \quad (30)$$

Onde:

$A_7$  – Abertura das janelas no compartimento R2

$$p(A_8) = \frac{\exp(-5,975 + 3,007X_3 + 0,147X_4)}{1 + \exp(-5,975 + 3,007X_3 + 0,147X_4)} \quad (31)$$

Onde:

$A_8$  – Abertura das janelas no compartimento W2

$$p(A_9) = \frac{\exp(-19,502 + 2,335X_3 + 0,746X_5 + 2,140X_6)}{1 + \exp(-19,502 + 2,335X_3 + 0,746X_5 + 2,140X_6)} \quad (32)$$

Onde:

$A_9$  – Abertura das janelas no compartimento LR

$X_6$  – Estado de ocupação (binário)

$$p(A_{10}) = \frac{\exp(-3,089 + 2,982X_3 + 0,071X_5 - 4,682X_6)}{1 + \exp(-3,089 + 2,982X_3 + 0,071X_5 - 4,682X_6)} \quad (33)$$

Onde:

$A_{10}$  – Abertura das persianas no compartimento R1

$$p(A_{11}) = \frac{\exp(-5,135 + 4,947X_3 + 0,173X_4)}{1 + \exp(-5,135 + 4,947X_3 + 0,173X_4)} \quad (34)$$

Onde:

$A_{11}$  – Abertura das persianas no compartimento R2

$$p(A_{12}) = \frac{\exp(-13,671 + 6,333X_3 + 0,476X_5 + 2,543X_6)}{1 + \exp(-13,671 + 6,333X_3 + 0,476X_5 + 2,543X_6)} \quad (35)$$

Onde:

$A_{12}$  – Abertura das persianas no compartimento LR

$$p(A_5) = \frac{\exp(2,127 - 0,487X_4 + 4,127X_6)}{1 + \exp(2,127 - 0,487X_4 + 4,127X_6)} \quad (36)$$

Onde:

A<sub>5</sub> – Início do aquecimento no compartimento LR

Tabela 37 – Resumo dos valores de qualificação do modelo.

Ação	R <sup>2</sup>		p-value	Percentagem de sucesso do modelo de previsão	
	Cox & Snell	Nagelkerke			
Janelas	R1	0,49	0,85	0,00*	97%
	R2	0,35	0,60	0,00*	91%
	LR	0,29	0,46	0,00*	86%
	W1	0,46	0,66	0,00*	87%
	W2	0,46	0,66	0,00*	89%
Persianas	R1	0,51	0,69	0,00*	87%
	R2	0,56	0,75	0,00*	91%
	LR	0,59	0,78	0,00*	92%
Aquecimento	LR	0,23	0,59	0,00*	95%
* para todos os parâmetros considerados					

Os coeficientes para a avaliação dos modelos de previsão para o início das ações indicam que os modelos possuem bons valores R<sup>2</sup> (Tabela 37). O modelo com maior percentagem de sucesso na previsão é o da abertura das janelas no compartimento R1 com 97% de sucesso. Seguem-se o modelo de previsão do aquecimento no compartimento LR, com 95% de sucesso. Segue-se o modelo de previsão do estado da persiana no compartimento LR com 92% de sucesso. Seguem-se os modelos de abertura das janelas e persianas no compartimento R2 com 91%. Com 89% de sucesso de previsão está o modelo da abertura da janela do compartimento W2 e com 87% a abertura das janelas das W1 as persianas no compartimento R1. Por último está a previsão do estado da janela no compartimento LR com 86%.

A partir dos valores absolutos de  $\beta$  indicados em cada uma das equações, é possível hierarquizar as motivações. Tendo em conta o sinal é ainda possível verificar se a correlação é positiva ou negativa. Ao contrário do verificado através dos coeficientes de Spearman, através da expressão logística não é possível verificar a colinearidade entre os parâmetros. O valor absoluto de  $\beta$  é um bom indicador da relevância do parâmetro sendo que valores próximos de 0 pouco influenciam a distribuição das probabilidades de ocorrência das ações. Através das equações de regressões logísticas indicadas da equação (28) à equação (36), obteve-se a hierarquização apresentada na Tabela 38.

Tabela 38 – Hierarquização das motivações para o início das ações de acordo com as regressões logísticas.

Ação	1º	2º	3º	Com pouca influência β ≈ 0,0	
Janelas	R1	MO	PD	-	ΔP
	R2	PD	Text	-	-
	LR	PD	O	Tint	-
	W1	Ban	PD	Text	-
	W2	PD	Text	-	-
Persianas	R1	O	PD	-	Tint
	R2	PD	Text	-	-
	LR	PD	O	Tint	-
Aquecimento	LR	O	Text	-	-

Utilizando-se as equações das regressões logísticas dos modelos de previsão, os valores monitorizados e os valores obtidos através dos registos dos ocupantes, obtiveram-se as probabilidades para a ocorrência do início das ações estudadas. De modo a poderem-se representar graficamente estas probabilidades, estão apresentados na Tabela 39 e na Figura 99 os gráficos de dispersão relacionando as probabilidades com uma variável contínua com  $\beta$  significativo. Uma vez que os parâmetros mais influentes nas regressões logísticas são os binários (Estado de ocupação, mudança de estado de ocupação, existência de banho prévio e período do dia), como demonstrado na Tabela 38, a forma dos gráficos de dispersão apresentados não apresenta a forma típica de uma regressão logística. Como se pode observar na Tabela 39 e na Figura 99, existem grupos de valores que correspondem ao estado 1 ou 0 das variáveis categóricas binárias.

Ao nível das janelas foi possível observar o seguinte:

- Compartimento R1 – existem 3 grupos de valores claramente distinguidos. O grupo relativo ao período diurno quando há mudança do estado de ocupação de ocupado para desocupado, corresponde a probabilidades de ocorrência de abertura de janela sempre de 100% para uma elevada gama de valores de  $\Delta P$  (entre -200 e 1000Pa). Nestas circunstâncias de período do dia e de mudança de estado de ocupação, o excesso de pressão de vapor de água não é uma motivação uma vez que não impacta a probabilidade da abertura das janelas. O grupo que corresponde ao período noturno e sem haver mudança do estado de ocupação apresenta probabilidades muito baixas (de 0 a cerca de 40%) para uma elevada gama de valores de  $\Delta P$  (entre -200 e 1000Pa). O grupo referente aos períodos do dia sem ocorrência de mudança o estado de ocupação abrange as probabilidades de abertura de janelas desde os 25% até perto dos 100% para uma gama de valores de  $\Delta P$  entre -200 e 650Pa. Não foram encontrados casos em que tenha existido mudança do estado de ocupação no período noturno pelo que não se pôde construir o modelo de previsão nestas circunstâncias;

- Compartimento R2 – Observando o gráfico da Tabela 39 percebe-se que há dois grupos distintos que correspondem a uma translação do gráfico no eixo da temperatura exterior, típico da equação logística. Um grupo corresponde ao período diurno e outro ao período noturno. É possível perceber deste modo que a probabilidade de os ocupantes abrirem a janela no compartimento R2 durante o período noturno é mais elevada quando a temperatura exterior é também ela mais elevada;
- Compartimento LR – é possível observar que se formaram três grupos distintos. Contudo, existe um grupo que é constituído pelo período diurno quando não há ocupação e pelo período noturno quando há ocupação. As maiores probabilidades de ocorrer a abertura das janelas observam-se quando o período é diurno e quando há ocupação. Pouca probabilidade de abertura da janela encontra-se quando não há ocupação e o período é o noturno, sendo que neste caso a probabilidade de abertura de janela não ultrapassa os 30%;
- Compartimento W1 – graficamente é clara a divisão em quatro grupos. O grupo correspondente aos períodos diurnos e após a ocorrência de um banho possui uma probabilidade de abertura das janelas entre os 60% e os 100% em função da variação da temperatura dos 5°C aos 30°C, aproximadamente. As probabilidades inferiores correspondem a temperaturas exteriores de perto de 5°C e os 100% atingem-se desde os 20°C até aos 30°C. Ao grupo que diz respeito aos períodos noturnos sem a ocorrência prévia de banho correspondem as probabilidades mais baixas, sendo que as probabilidades não atingem os 25%. O grupo que corresponde ao período diurno sem a ocorrência de banho nos instantes anteriores possui uma distribuição de probabilidades de aberturas da janela entre perto dos 0% para temperaturas exteriores de cerca de 5°C até perto dos 100% para temperaturas exteriores de cerca de 35°C. No grupo dos períodos noturnos após a existência de um banho a probabilidade varia entre os 10% para temperaturas exteriores de cerca de 6°C até aos 75% para temperaturas exteriores de cerca de 20°C;
- Compartimento W2 – graficamente é clara a existência de dois grupos tendo por base o período do dia a que pertencem. No período diurno as probabilidades de abertura das janelas variam entre os 10% e os 90%, em função da temperatura exterior. No período noturno a probabilidade de abertura não atinge os 15% quando a temperatura exterior é cerca de 27°C sendo aproximadamente 0% dos 5°C até aos 15°C.

Relativamente às persianas, observou-se o seguinte:

- Compartimento R1 – graficamente é notória a presença de três grupos de valores. Contudo, existe um grupo que é constituído pelo período diurno quando há ocupação e pelo período diurno quando não há ocupação. Neste grupo a probabilidade de ocorrer uma abertura de persianas é reduzida ou nula. Com uma probabilidade ligeiramente superior de ocorrer a abertura de janelas encontra-se quando não há ocupação do compartimento no período noturno. As maiores probabilidades de ocorrer uma abertura de persianas encontram-se quando não há ocupação (permanente) do compartimento no período diurno. Como indicado na Tabela 38, a variável contínua da temperatura interior não impacta consideravelmente a probabilidade de ocorrência da ação;
- Compartimento R2 – observa-se a presença de dois grupos. Quando se trata do período diurno, a probabilidade de abertura das janelas é elevada e varia entre perto dos 75% perto dos 5°C até atingir perto dos 100% nos 25°C. O segundo grupo corresponde ao período noturno com probabilidades de abertura baixas, entre os 0% e os 50%;
- Compartimento LR – existem quatro grupos distintos. As probabilidades estão sempre perto dos 100% quando o período é diurno e existe ocupação com variação da temperatura interior dos 18°C aos 26°C. As probabilidades variam entre cerca de 50% a os 100% desde os 16°C

aos 26°C de temperatura interior quando se trata do período diurno sem ocupação (permanente). No período noturno não se encontram probabilidades de abertura de persianas superior a cerca de 60% e apenas ocorrem quando há ocupação e para as temperaturas interiores mais elevadas. Nestas circunstâncias a probabilidade de abertura das janelas é cerca de 25% para temperaturas exteriores de 21°C. No período noturno sem presença de ocupantes, a probabilidade de abertura das persianas não ultrapassa os 15%, sendo nula quando a temperatura interior é inferior a 20°C.

Relativamente ao aquecimento, observou-se a existência de dois grupos distintos. Quando há ocupação a probabilidade de ligar o aquecimento varia dos 100% aos 0% em função da temperatura registada no exterior. Abaixo dos 20°C exteriores a probabilidade de se ligar o aquecimento deixa de ser nula atingindo os 100% quando a temperatura exterior é inferior a cerca de 7,5°C. Quando não há ocupação a probabilidade de se ligar o aquecimento é sempre inferior a 50%, passando a nula para valores de temperatura exterior superiores a cerca de 12,5°C.

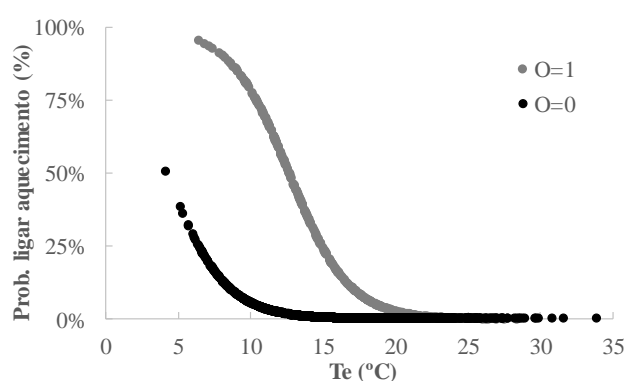
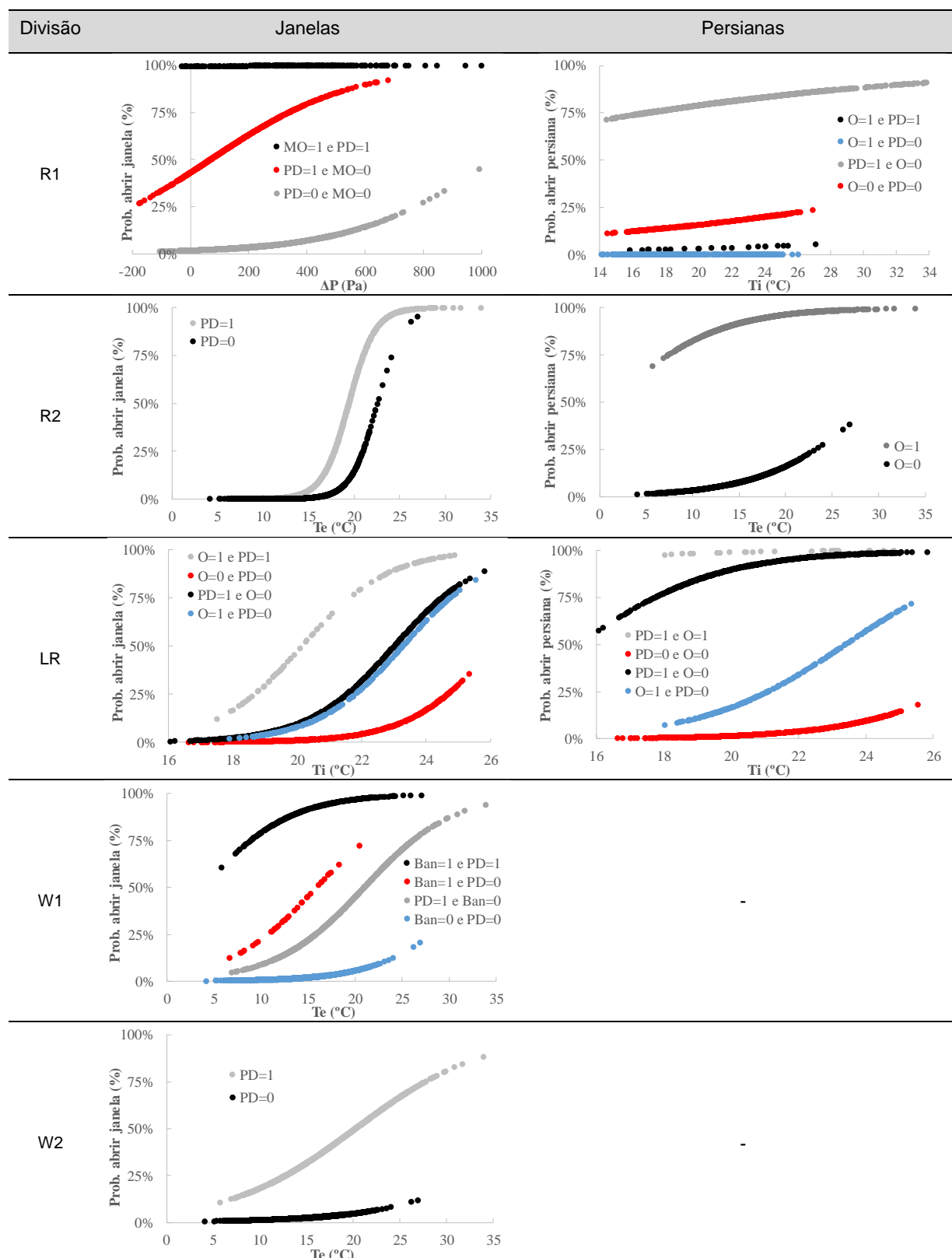


Figura 99 – Probabilidade de início da ação de aquecimento de acordo com o modelos de previsão através de regressões logísticas.

Tabela 39 – Probabilidade de início das ações de acordo com os modelos de previsão através das regressões logísticas.



#### 5.4. DISCUSSÃO E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Podem ser identificadas as motivações que levaram os ocupantes a efetuarem ações nos edifícios através de correlações utilizando-se os coeficientes de Spearman, à semelhança do indicado no capítulo 4. Contudo, é necessário perceber qual a colinearidade entre as potenciais motivações para se evitar a indicação de motivações redundantes. A hierarquização das motivações é também possível de obter em função do valor do coeficiente de correlação de Spearman obtido.

No caso em estudo, foi possível perceber que as motivações dos ocupantes variam bastante. Para a mesma ação foram encontradas variações das motivações em função da estação do ano, compartimento da casa, parâmetros do ambiente interior e exterior e outras ações ocorridas previamente. Deste modo, considera-se que um sistema de gestão inteligente da fração habitacional que possibilite a previsão das ações dos ocupantes, só será eficaz se possuir um sistema de monitorização abrangente da totalidade da fração e que esteja continuamente a recolher e a processar os dados monitorizados.

No caso em estudo, em função da categorização estabelecida por Peng et al. (2012) as janelas tem motivações relacionadas com questões temporais e ambientais. As janelas do compartimento R1 são operadas após uma mudança de ocupação no início da manhã. Assim, pode-se indicar que esta ação vai colmatar a necessidade de fornecimento de ar fresco após um longo período de ocupação de acordo com o encontrado por Frontczak, Andersen, e Wargocki (2012). No compartimento R2, a abertura da janela é efetuada essencialmente no período noturno, quando não há radiação solar e quando a temperatura é mais baixa face ao balanço do dia, podendo considerar-se esta ação como uma ação de ventilação noturna. No compartimento LR as motivações são essencialmente relacionadas com a temperatura interior, funcionando como veículo para o aumento do conforto térmico através do aumento da ventilação (velocidade do ar). Na instalação sanitária W1 as janelas são usadas após a ocorrência de banhos, independentemente da temperatura exterior, sendo a motivação essencialmente a diminuição do excesso de pressão no interior do compartimento. Na W2 não se encontrou um padrão claro incluindo-se estas motivações nas aleatórias e nas ambientais, principalmente no verão. Relativamente às persianas, a sua operação faz delas componentes do sistema de sombreamento nos dias mais quentes, mas também são operadas como sistemas de oclusão noturna. Deste modo, encontraram-se no compartimento R1 motivações temporais ao longo do ano e motivações ambientais nos períodos de maior calor no compartimento com envidraçados orientados a sul e nascente. Nos restantes compartimentos as motivações são temporais. A ação do aquecimento é uma ação ambiental, servindo para aumentar o conforto térmico através do aumento da temperatura interior nos dias mais frios.

É possível prever as ações dos ocupantes tendo em conta as suas motivações através de regressões logísticas. A construção da regressão logística permite ainda hierarquizar a importância das motivações para a construção da probabilidade de ocorrência de cada ação estudada. Foi evidenciado que, caso existam variáveis categóricas binárias, as equações logísticas tendem a formar grupos facilmente distinguidos em função dessas variáveis. Contudo, conseguem-se melhores percentagem de sucesso na previsão das ações dos ocupantes caso exista uma variável numérica contínua com influência na previsão da ação. A percentagem de sucesso dos modelos de previsão foi superior a 86% para todas as ações, tendo-se atingindo uma percentagem de sucesso máxima de 97%.

A comparação entre a hierarquização possibilitada pelos coeficientes de correlação de Spearman e pelas regressões logísticas leva à conclusão que estas diferentes metodologias apesar de indicarem quase sempre os mesmos parâmetros/estados como motivações para uma determinada ação, não conduzem à mesma hierarquização.

Através dos coeficientes de correlação de Spearman ou das equações logísticas é possível perceber as motivações e as necessidades que levam os ocupantes a operar os sistemas/mecanismos disponíveis na habitação.



## 6. DETEÇÃO DAS AÇÕES DOS OCUPANTES

### 6.1. ESTRATÉGIA DE DETECÇÃO DAS AÇÕES DOS OCUPANTES

Foi identificada na pesquisa bibliográfica a existência de lacunas no mercado relativas à monitorização do comportamento dos ocupantes. Para além disso, foram comprovados os relatos identificados no estado da arte sobre as limitações da estratégia de conhecer o comportamento dos ocupantes de edifícios a partir de inquéritos. Com o objetivo de se contribuir para o aumento do conhecimento disponível na área, desenvolveram-se metodologias de deteção de ações do quotidiano dos ocupantes a partir de sensores de baixo custo e já difundidos pelos edifícios. Estas metodologias foram desenvolvidas para se retirar conhecimento de séries de dados existentes e para obter informações sobre os ocupantes em novas campanhas de monitorização. Este capítulo está dividido em duas partes, correspondendo a três metodologias inovadoras desenvolvidas no âmbito deste trabalho:

- Deteção de ações a partir do método estatístico de CPA;
- Deteção de ações a partir das variações sucessivas de dados.

Nos subcapítulos seguintes apresenta-se a avaliação das seguintes ações decorrentes de atividades quotidianas dos ocupantes ( $A_i$ ), nos compartimentos indicados:

- Abertura das janelas (R1) – ação A1;
- Abertura das janelas (W1) – ação A2;
- Ato de tomar banho (W1) – ação A3;
- Ato de cozinhar (K) – ação A4;
- Ato de aquecer (LR) – ação A5.

No presente capítulo foram utilizados os sensores indicados na Figura 100. Os dados utilizados corresponderam ao segundo ano de monitorização. No período de monitorização considerado, foi solicitado aos ocupantes o preenchimento de um registo diário para um mês de inverno e um mês de verão, tendo-se pedido que o registo do aquecimento fosse em dois meses de inverno.

Complementarmente, foram também usados dados da estação meteorológica do Departamento de Proteção Civil da Câmara Municipal do Porto, referido no capítulo 3.6.

Tendo por base os parâmetros monitorizados de T e HR, foram calculadas as P e a diferença de pressão  $\Delta P$ .

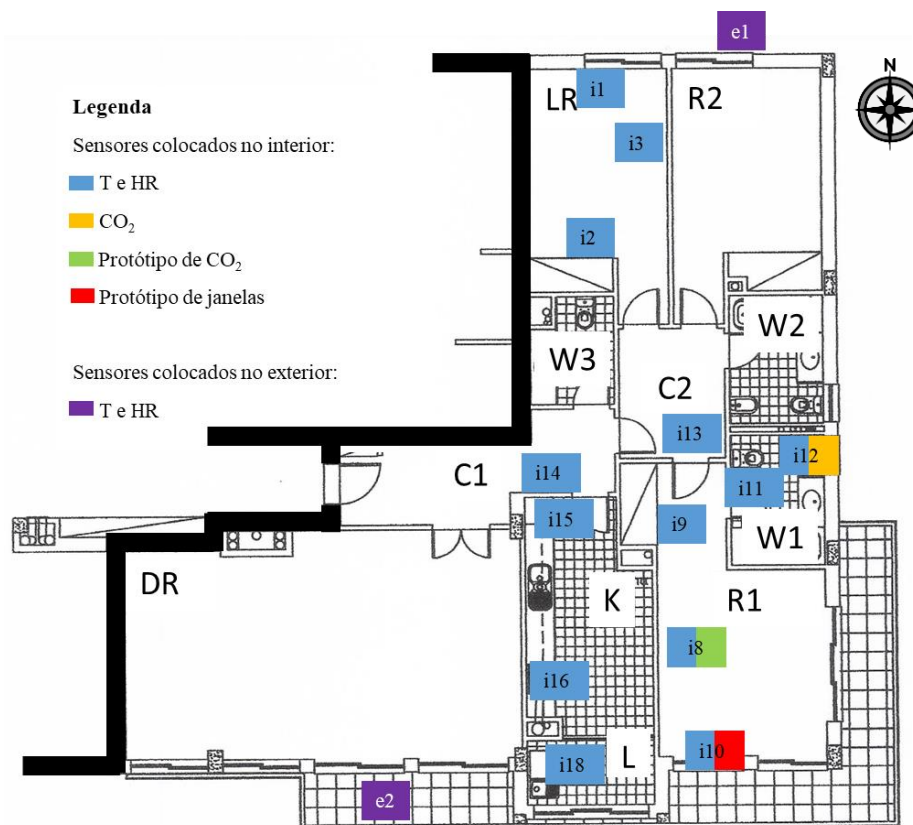


Figura 100 – Sensores utilizados para o estudo apresentado no capítulo 6.2

Apresenta-se na Figura 101 os box plot da temperatura, na Figura 102 os box plots da pressão de vapor de água e na Figura 103 os box plots do excesso de pressão e da concentração dióxido de carbono, tendo a sua análise permitido observar o seguinte:

- Existe uma diferença de temperatura de cerca de 4°C entre os compartimentos da fração em estudo. A diferença entre a média das temperaturas interiores e a temperatura exterior aproxima-se dos 6°C. Foi também encontrada uma grande variação dos valores registados em todos os sensores, sendo a variação mínima de cerca de 15°C e a máxima de cerca de 25°C.
- Os valores da pressão de vapor de água e excesso de pressão são idênticos em todos os compartimentos ao nível das medianas, existindo grandes diferenças nos pontos atípicos superiores, principalmente nos compartimentos com maior produção de vapor de água, cozinha e instalação sanitária;
- A mediana da concentração de CO<sub>2</sub> ao longo das 24 h apresenta valores inferiores a 750 ppm. Contudo, os valores extremos superiores dos compartimentos R1 e W1 são muito elevados, ultrapassando os 2500 ppm.

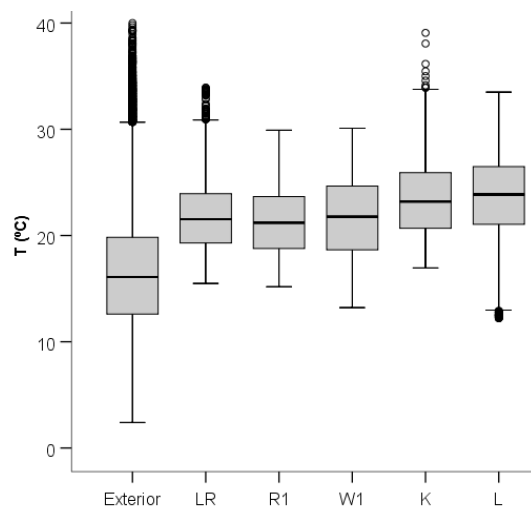


Figura 101 – Box-plots da temperatura média dos sensores de cada compartimento.

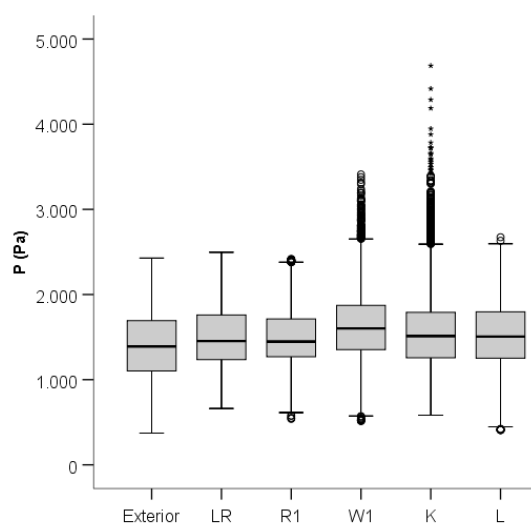


Figura 102 – Box-plots da pressão de vapor de água média dos sensores de cada compartimento.

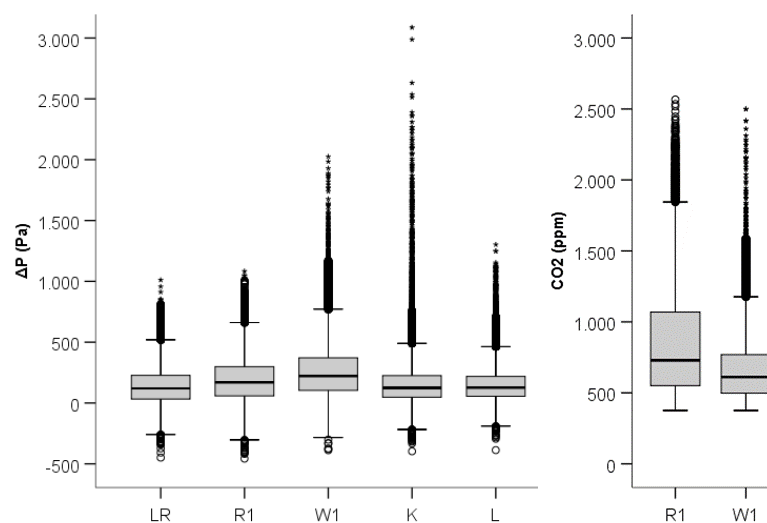


Figura 103 – Box-plots do excesso de pressão de vapor de água e concentração de  $\text{CO}_2$ .

## **6.2. TRATAMENTO DE DADOS - MÉTODO CPA**

### **6.2.1. INTRODUÇÃO AO MÉTODO CPA**

A detecção de ações dos ocupantes a partir de medições ambientais foi implementada através de uma metodologia inovadora, apresentando-se este trabalho como um dos pioneiros nesta área de estudos. O trabalho apresentado neste subcapítulo incluiu os seguintes objetivos:

- Detetar ações de ocupantes a partir de séries temporais adquiridas a partir de sensores de ambiente interior de uso corrente e baratos (T e HR);
- Avaliar quais parâmetros ambientais mais adequados para a detecção de ações de ocupantes;
- Testar e validar a metodologia numa monitorização real.

A ferramenta estatística Estudo de Pontos de Mudança (CPA – change point analysis) foi aplicada numa metodologia para detetar ações de ocupantes em edifícios residenciais, usando dados de um sistema de monitorização de ambiente interior, incluindo T, HR e CO<sub>2</sub>. O princípio desta metodologia baseia-se no facto de que as ações dos ocupantes produzem mudanças abruptas nos parâmetros citados. O estudo dos pontos de mudança deteta essas mudanças abruptas numa série temporal e os seus momentos precisos de ocorrência, que são depois correlacionados com as ações dos ocupantes. O CPA tem sido utilizado em diferentes campos científicos, como o trânsito, economia, finanças, genética, medicina, psicologia, geologia, literatura, meteorologia, edifícios, etc. (Guralnik e Srivastava 1999; Beaulieu, Chen, e Sarmiento 2012; Chen e Gupta 2014; Li e Dong 2017). Na área da estatística, um ponto de mudança numa série temporal ocorre quando um evento muda uma distribuição anteriormente seguida para outro tipo de distribuição. Assim, o estudo dos pontos de mudança tem que resolver dois problemas, de acordo com Chen e Gupta (2014): testar as séries temporais para hipoteticamente se encontrar a existência de uma mudança e estimar a localização no tempo dos pontos de mudança. Isto é conhecido, na literatura, como o problema da detecção dos pontos de mudança (Guralnik e Srivastava 1999). Existem dois tipos de abordagem que se podem seguir neste tipo de análises:

- Incremental (online) - em que as séries temporais estão em evolução constante e, em cada momento, é necessário saber se os novos dados representam um ponto de mudança para ser detetado ou se mantêm o mesmo tipo de distribuição face aos anteriores. A utilização desse tipo de abordagem no método de CPA está ligada ao controle estatístico de qualidade, nos sistemas de vigilância, na saúde pública, no processamento do sinal (Mei 2006) e trânsito automóvel (Guralnik e Srivastava 1999);
- Retrospectiva (offline) – na qual todos os dados estão disponíveis para serem extraídos, correspondendo a séries temporais de eventos passados. Este tipo de estudo é popular nos campos da demografia, geologia, genética (Chen e Gupta 2014), meteorologia (Beaulieu, Chen, e Sarmiento 2012) e qualidade da água (Costa, Manuela Gonçalves, e Teixeira 2016).

A detecção de mudanças abruptas nas séries de dados é testada num modelo que é escolhido como adequado para descrever a distribuição dos dados. Contudo, é sempre difícil obter uma série de dados constante ao ponto de serem nulas as hipóteses de existirem pontos de mudança (Beaulieu, Chen, e Sarmiento 2012). Existem diferentes modelos utilizados para avaliar as mudanças comportamentais das séries temporais. Os modelos a seguir indicados são os mais usados (Bai e Perron 1998; Chen e Gupta 2014):

- Média;
- Variância;
- Média e Variância;
- Regressões lineares.

A rigidez do estudo dos pontos de mudança nem sempre é compatível com a detecção de eventos específicos (Beaulieu, Chen, e Sarmiento 2012). Para escolher o melhor modelo a ser adaptado a cada segmento da série de dados, podem ser encontrados na literatura diferentes métodos para a inferência do ponto de mudança, tais como (Beaulieu, Chen, e Sarmiento 2012; Chen e Gupta 2014; Bai e Perron 1998):

- Likelihood-ratio test (MLE);
- Testes Bayesianos;
- Information-theoretic approach (AIC, BIC and SIC);
- Reversible-jump Markov Chain Monte Carlo (MCMC);
- Testes de somas cumulativas (CUSUM).

No entanto, a escolha de um método adequado não se baseia em regras bem estabelecidas, dependendo, em vez disso, de muitos fatores que são desconhecidos antes do estudo dos pontos de mudança (Killick e Eckley 2014). Assim, os autores Killick e Eckley (2014) concluem que, na prática, os pesquisadores geralmente analisam os dados e os pontos de mudança dados através de gráficos, com o objetivo de verificar a razoabilidade dos pontos de mudança detetados pelo método de CPA. Contudo, no estudo elaborado por Guralnik e Srivastava (1999), onde foram analisadas diferentes perspectivas de investigadores relativamente à ocorrência de pontos de mudança numa série de dados relativa a sons aéreos produzidos pelo tráfego automóvel, o uso da análise de pontos de mudança foi considerado como a forma mais eficiente, consistente e replicável para encontrar mudanças bruscas face ao uso simples da inspeção visual através de gráficos. É ainda apontado pela bibliografia (Beaulieu, Chen, e Sarmiento 2012) uma lacuna nesta área da estatística que consiste na ausência de estudos que comparem os modelos usados para detecção dos pontos de mudança e evidenciem as vantagens e desvantagens do uso de uns face aos outros e as suas restrições de modo a poder-se à priori saber qual o potencial melhor modelo a usar em função do tipo de série de dados a analisar.

Um problema de CPA pode ser formulado como descrito abaixo (Chen e Gupta 2014).

Seja  $x_1, x_2, \dots, x_n$  uma sequência de vetores independentes e aleatórios (variáveis), com funções de distribuição de probabilidade dadas por  $F_1, F_2, \dots, F_n$ , respetivamente. Assim, no geral, o problema de pontos de mudança consiste no teste da seguinte hipótese nula, segundo a equação (37):

$$H_0: F_1 = F_2 = \dots = F_n \quad (37)$$

Versus a hipótese alternativa indicada na equação (38):

$$H_1: F_1 = \dots = F_{k_1} \neq F_{k_1+1} = \dots = F_{k_2} \neq F_{k_2+1} = \dots = F_{k_q} \neq F_{k_q+1} = \dots = F_n \quad (38)$$

Onde:

$1 < k_1 < k_2 < \dots < k_q < n$ ;

$q$  é o número desconhecido de pontos de mudança;

$k_1, k_2, \dots, k_q$  são as respetivas posições desconhecidas dos pontos de mudança que devem ser estimadas.

Se as distribuições  $F_1, F_2, \dots, F_n$  pertencem a uma família paramétrica  $F(\theta)$ , onde  $\theta \in \mathbb{R}^p$ , então o problema de CPA é o teste da hipótese nula acerca da família paramétrica  $\theta_i, i = 1, \dots, n$ , equação (39):

$$H_0: \theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_n = \theta \text{ (desconhecido)} \quad (39)$$

Versus a hipótese alternativa, equação (40):

$$H_1: \theta_1 = \dots = \theta_{k_1} \neq \theta_{k_1+1} = \dots = \theta_{k_2} \neq \dots \neq \theta_{k_q-1} = \dots = \theta_{k_q} \neq \theta_{k_q+1} = \dots = \theta_n, \quad (40)$$

Onde  $q$  e  $k_1, k_2, \dots, k_q$  terão que ser estimados. Juntas, estas hipóteses revelam os principais problemas da inferência dos pontos de mudança (Chen e Gupta 2014):

- determinar se existe algum ponto de mudança na série de dados,
- estimar o número e a posição temporal onde o(s) ponto(s) de mudança ocorreram.

#### 6.2.2. METODOLOGIA DE DETECÇÃO DAS AÇÕES DOS OCUPANTES - CPA

Para verificar a aplicabilidade do estudo dos pontos de mudança na identificação das ações dos ocupantes, um “R Package” chamado “change point” foi usado no software RStudio (Killick e Eckley 2014). Este “R Package”, disponibilizado pela R Core Team (2014), compila o trabalho individual de muitos investigadores nesta ferramenta estatística. Não é intenção deste capítulo descrever detalhadamente o “R Package”, pelo que um resumo das suas principais opções é apresentado na Figura 104. A nomenclatura apresentada na Figura 104 é a usada pelos autores Killick e Eckley (2014), que nem sempre coincide com a nomenclatura utilizada por todos os autores que foram referenciados no capítulo 6.2.

O uso do estudo dos pontos de mudança para detetar ações dos ocupantes baseia-se nos seguintes pressupostos:

- As ações dos ocupantes influenciam os parâmetros do ambiente interior;
- As ações dos ocupantes são responsáveis por uma mudança abrupta na série temporal de um determinado parâmetro medido;
- O tipo de penalty selecionado no estudo dos pontos de mudança (“R Package”) possibilita a diferenciação entre mudanças relacionadas com as ações dos ocupantes e outro tipo de mudanças.

Se esses pressupostos forem cumpridos, os pontos de mudança detetados usando o “R Package” mencionado correspondem a uma ação de ocupante. Caso contrário, o estudo dos pontos de mudança poderia estar a detetar outros eventos que alteram os parâmetros interiores monitorizados, mas que não correspondem necessariamente a uma ação dos ocupantes.

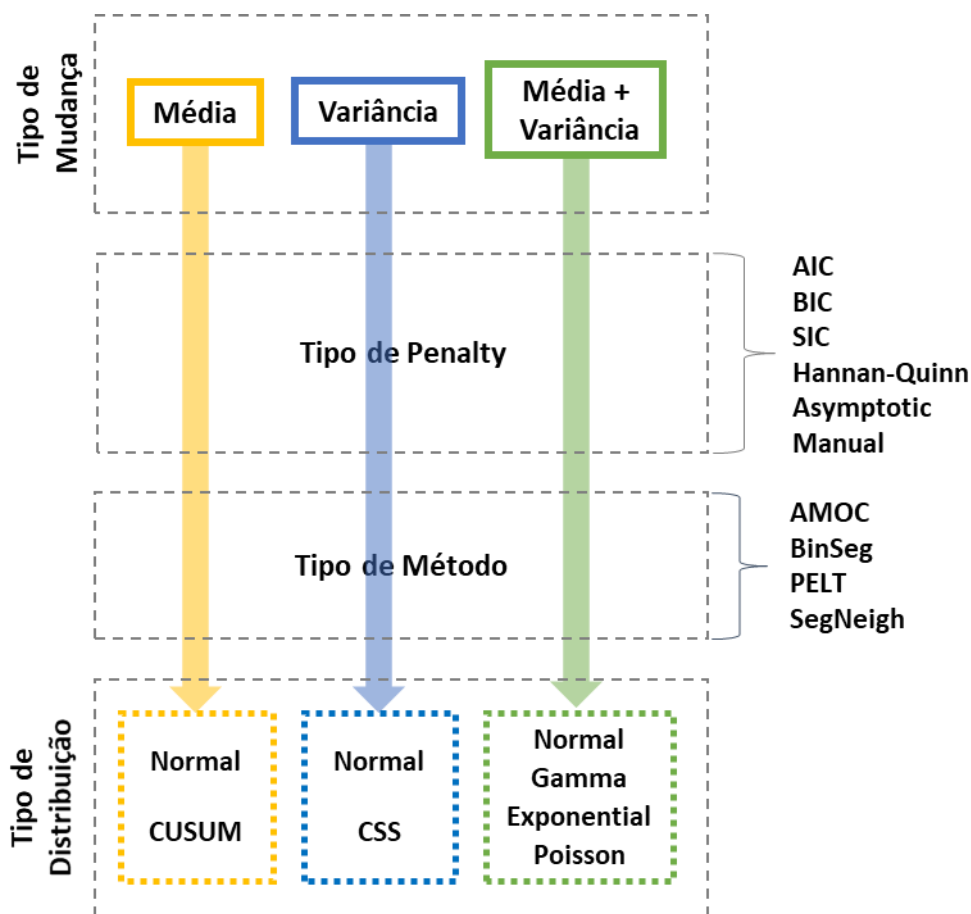


Figura 104 – Resumo do “R Package” - “changepoint” (Killick e Eckley 2014).

Apresentam-se na Figura 105 os cinco passos que se propõe para o uso desta metodologia. Esses passos são essenciais para se aplicar, validar e calibrar o software “changepoint” na detecção de ações de ocupantes, com base nos dados obtidos por um sistema de monitorização do ambiente interior:

- **1º PASSO – construção de séries temporais (base de dados):** os parâmetros de T, HR e CO<sub>2</sub> registados pelo sistema de monitorização são colecionados e constroem-se séries temporais após ter-se efetuado um pré-processamento dos dados;
- **2º PASSO – detecção das ações através do CPA:** O CPA é aplicado aos parâmetros medidos, usando-se o software RStudio e o pacote “changepoint”. O objetivo é encontrar mudanças abruptas na série temporal. Como dito anteriormente, a seleção de um método adequado não é baseada em regras bem estabelecidas dependendo, em vez disso, de muitos fatores que são desconhecidos antes de se iniciar o processo de CPA (Killick e Eckley 2014). Todas as opções plausíveis, disponíveis no “R Package” “changepoint”, foram testadas na descoberta dos pontos de mudança. Todos os parâmetros ambientais internos monitorizados também foram usados para selecionar o melhor trigger (identificador) para a detecção da ação. Neste passo foram usados dados de treino nos quais se conheciam as ações dos ocupantes;
- **3º PASSO – registo do momento da real ocorrência das ações:** de modo a criar-se a base de dados de treino referida no passo anterior, foram usados registos diários por parte dos ocupantes e sensores reed switch para detetar as ações dos ocupantes. Este registo foi utilizado para se poder validar as ações encontradas através do CPA no 2º PASSO devido à análise das mudanças nas séries temporais. Neste estudo, foi solicitado o preenchimento de registos

diários durante dois períodos distintos (cerca de 6 meses de diferença entre eles) e apenas durante 1 mês, cumprindo-se a recomendação em relação a registos de tempo curto, de modo a obter-se resultados precisos (Hnat et al. 2011; Nguyen e Aiello 2013). Foi pedido o registo aos ocupantes das seguintes ações: cozinhar, aquecer, tomar banho e abrir as janelas;

- **4º PASSO – validação e calibração do CPA:** para avaliar a configuração usada no “R Package” do “change point” que leve à melhor detecção de ações, os pontos de mudança encontrados pelo CPA são comparados com as ações conhecidas (através dos registos diários e dos sensores reed switch). Deste modo este passo compara os dados obtidos no 2º PASSO com os registados no 3º PASSO. Neste caso, o período durante o qual essa comparação foi realizada corresponde a 1 mês. Os índices A e B, dados pelas equações (41) e (42), foram usados para se comparar as diferentes configurações do “R Package” “change point”. O índice A representa a percentagem de “verdadeiros positivos” (ações detetadas que comprovadamente ocorreram) e o índice B corresponde ao complementar dos “falsos positivos” (ações detetadas, mas que comprovadamente não ocorreram dentro do intervalo de tempo / precisão definida). Nesta etapa tem, por isso, que ser definido qual o intervalo de tempo a considerar para se categorizar uma ação como corretamente detetada (definir a precisão do método p.e.  $\pm 20\text{min}$ ). Esta etapa permite a seleção dos melhores parâmetros para detetar as ações pretendidas e o uso da ferramenta estatística de CPA para executar o trabalho;
- **5º PASSO – Critérios de refinamento:** pode ser aplicado um critério de refinamento aos pontos de mudança detetados pelas duas configurações que levaram a maiores índices A e B, tendo-se estipulado um valor mínimo de 80% e 20%, respetivamente. Deste modo, pretende-se diminuir o número de “falsos positivos”. O critério estabelece a distância mínima entre os pontos detetados. Esta abordagem já existe noutras ferramentas de CPA, como a função “MinDistance” do script “findchangepts” que pode ser encontrado no software MathWorks-Matlab (2017). Uma ferramenta semelhante a este tipo de critérios pode também ser encontrada no “R Package” “change point” que corresponde ao método AMOC (no máximo uma mudança). No entanto, neste caso, a análise implica a divisão das séries temporais em segmentos reduzidos, nos quais apenas uma ação dos ocupantes é admitida. Os índices de validação A e B foram também utilizados para comparar os critérios de refinamento.

A aplicação dos 5 referidos passos da metodologia a este caso de estudo, indicou uma configuração do “R Package” “change point” que deteta corretamente as ações pretendidas ou indica a inexistência de alguma configuração que consiga detetar as ações de acordo com a precisão requerida. Posteriormente, a metodologia tem que ser ela própria validada usando-se um período de dados diferente daquele que é usado no 4º PASSO. Deste modo, para cada ação, a configuração usada no “R Package” que, após a aplicação do critério de refinamento, levou a maiores índices A e B, foi usada num conjunto de dados completamente diferentes dos usados no 4º PASSO. Foram obtidos outros índices A e B neste processo de validação da metodologia. Além disso, a metodologia apresentada foi validada utilizando dados da estação do ano oposta, ou seja, foram utilizados para a validação da metodologia os dados menos favoráveis.

$$A = \frac{NAAD}{NAA} \times 100 \quad (41)$$

Onde:

NAAD – número de ações corretamente detetadas

NAA – número de ações que efetivamente ocorreram



$$B = \frac{NAAD}{NDA} \times 100 \quad (42)$$

Onde:

NDA – numero de ações detetadas

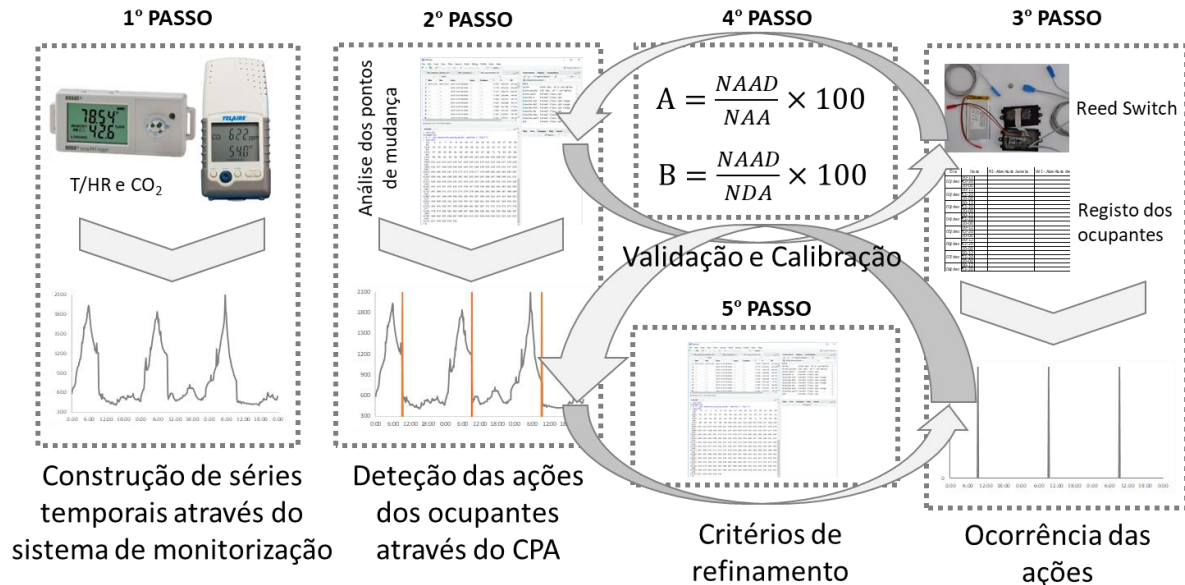


Figura 105 – Passos constituintes da metodologia proposta.

### 6.2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 6.2.3.1.Exemplo do funcionamento do CPA

O 1º e o 3º Passos indicados na metodologia (Figura 105) produzem uma quantidade de dados que podem ser representados graficamente como séries temporais.

É possível ver, na Figura 106, um exemplo da série temporal dos parâmetros considerados como potenciais indicadores em três dias consecutivos da estação de aquecimento, para o qual a ocorrência exata de ações é conhecida:

- Abrir a janela - R1 - ocorrência de ação e séries temporais (T, P,  $\Delta P$ , CO<sub>2</sub>);
- Abrir a janela - W1 - ocorrência de ação e séries temporais (T, P,  $\Delta P$ , CO<sub>2</sub>);
- Tomar banho - W1 - ocorrência de ação e séries temporais (T, P,  $\Delta P$ , CO<sub>2</sub>);
- Cozinhar - K - ocorrência de ação e séries temporais (T, P e  $\Delta P$ );
- Aquecer - LR - ocorrência de ação e séries temporais (T, P e  $\Delta P$ ).

A temperatura medida em R1 variou de 19°C a 21°C e, na Figura 106, é possível ver uma mudança abrupta durante a manhã e um aumento prolongado durante a tarde, conseguindo uma diminuição de longo prazo até à manhã. Os parâmetros P,  $\Delta P$  e CO<sub>2</sub> têm um comportamento semelhante, aumentando progressivamente durante a noite, mas com duas tendências claramente distintas. Começam a diminuir aproximadamente às 6 da manhã, tendo uma mudança abrupta coincidente com a diminuição da temperatura pela manhã. As mudanças abruptas são coincidentes com a ocorrência da ação. As duas tendências distintas de aumento dos parâmetros de P,  $\Delta P$  e CO<sub>2</sub> durante a noite são devidas à mudança de estado do sistema ventilação que deixa de operar das 3 às 6 da manhã.

No compartimento W1, a temperatura variou aproximadamente entre 15°C e 20°C. É possível ver na Figura 106 uma diminuição da temperatura ocorrida perto das 6 da tarde até à manhã seguinte. Observa-se de seguida um aumento abrupto, coincidente com a ação do banho, e uma queda abrupta coincidente com o evento de abertura da janela. Os valores de  $P$  e  $\Delta P$  têm uma tendência semelhante, aumentando abruptamente quando a ação de banho ocorre e diminuindo após o seu término. O aumento dos valores de  $CO_2$  coincidem com a ação de banho, mas a mudança de inclinação ocorre momentos antes dessa ação.

Os valores de  $T$ ,  $P$  e  $\Delta P$  na cozinha (K) comportam-se com a mesma tendência. É possível ver na Figura 106 que há mudanças abruptas coincidentes com a ação de cozinhar. No entanto, a magnitude dessas mudanças é muito diferente e uma variação elevada em  $T$  não implica uma variação elevada em  $P$  e  $\Delta P$  e vice-versa.

Na LR, como é possível observar na Figura 106, a temperatura apresenta variações durante o dia, mas o aumento abrupto coincide com o início da ação de aquecimento. Os valores de  $P$  e  $\Delta P$  também têm um aumento coincidente com o início da ação de aquecimento, mas também têm uma mudança abrupta noutras partes do dia, relacionadas com outras ocorrências como a ocupação do local.

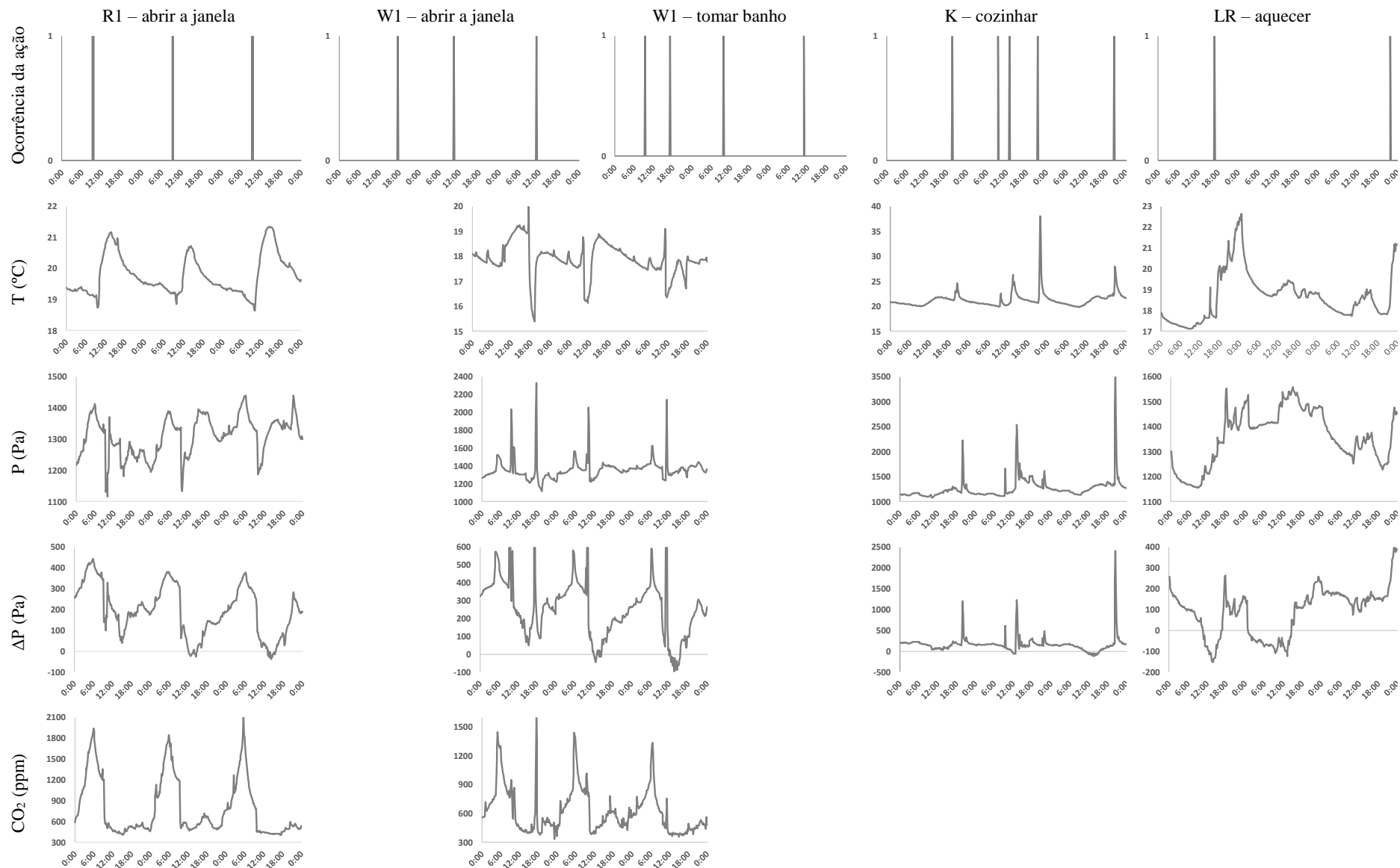


Figura 106 – Série temporal dos parâmetros considerados como potenciais indicadores em três dias consecutivos, incluindo a ocorrência das ações.

### 6.2.3.2. Aplicação da metodologia

Na Figura 107 é possível ver as configurações que levam a um índice A de pelo menos 80%, bem como um índice B de pelo menos 20%, para cada uma das ações dos ocupante analisada. Cada vértice do gráfico de radar apresentado representa uma configuração no “R Package” “changepoint” que cumpriu os requisitos estabelecidos para os índices A e B. O único “tipo de mudança” disponível no Pacote de R (Figura 104) utilizado que cumpre esses requisitos é o da “média”. Para explicar os símbolos utilizados, antes do traço há uma indicação do parâmetro utilizado, variando entre T, P,  $\Delta P$  e CO<sub>2</sub>. Após o traço, apresenta-se o tipo de penalty usado do “R Package” (Figura 104). Dado o grande impacto que o critério de refinamento têm nos índices, principalmente o B, também se apresenta nos gráficos da Figura 107 os valores dos índices antes do critério de refinamento (BRC – before refinement criterion) - apresentado por uma linha tracejada, e após o critério de refinamento (ARC - after refinement criterion) - apresentado por uma linha contínua. O critério de refinamento é aplicado no 5º Passo da metodologia proposta (Figura 105).

Analisando o efeito do critério de refinamento, pode-se observar na Figura 107 que o índice A não sofre uma alteração considerável devido à aplicação do critério de refinamento, para todas as cinco ações analisadas. Isso significa que o número de ações reais detetadas (NAAD) permanece o mesmo, já que o critério de refinamento não exclui os pontos de mudanças considerados “verdadeiros positivos”. Um cenário diferente pode ser visualizado na análise do índice B que aumenta significativamente, após o critério de refinamento ser aplicado. Isso significa que o número de ações detetadas (NDA) diminui consideravelmente, o que leva à conclusão de que a metodologia encontra menos “falsos positivos”

Analisando a Figura 107 é possível ver que, para a ação de abrir a janela em R1, antes do 5º Passo da metodologia proposta, duas configurações permitiram alcançar um índice A de 97% (apenas uma ação não foi detetada). Isso aconteceu usando o penalty BIC, bem como o penalty Hannan-Quinn e os parâmetros  $\Delta P$  e CO<sub>2</sub>, respectivamente. No entanto, os valores do índice B foram apenas de 23% e 31%, o que representa um número de “falsos positivos” de 92 e 62, respectivamente. Após o refinamento, alcançado através de um critério de distância máxima entre pontos de mudança, o índice A permaneceu aproximadamente o mesmo, mas o intervalo do índice B mudou, aumentando para 83% e 93%, o que representa uma redução do número de “falsos positivos” para 5 e 2, respectivamente.

Em relação à ação de abrir a janela em W1, antes do critério de refinamento, uma configuração do “R Package” levou a um índice A de 100% e três configurações levaram a um índice A de 96% (uma ação sem detecção). Os valores de B variaram de 20% a 35%. Isso ocorreu ao usar os seguintes parâmetros: T; P;  $\Delta P$  e a AIC; e “penalty manual”. Após o 5º Passo, o índice A permaneceu o mesmo e o índice B mudou, passando a variar entre 83% para 90%, o que representa uma redução do número de “falsos positivos” variando de 5 a 2.

Considerando a ação do banho no W1, antes do 5º Passo, havia duas configurações que levaram a um índice A de 100% e uma configuração a um índice A de 97% (uma ação sem detecção). Os valores de B variaram entre 20% e 43%. Essas configurações usaram parâmetros T, P e  $\Delta P$ , e sempre “penalty manual”. Após os critérios de refinamento, os índices A não decaíram significativamente, enquanto o índice B aumentou consideravelmente, passando a situar-se entre 67% e 97%, o que representou uma redução do número de “falsos positivos” que passaram a variar entre 17 e 1.

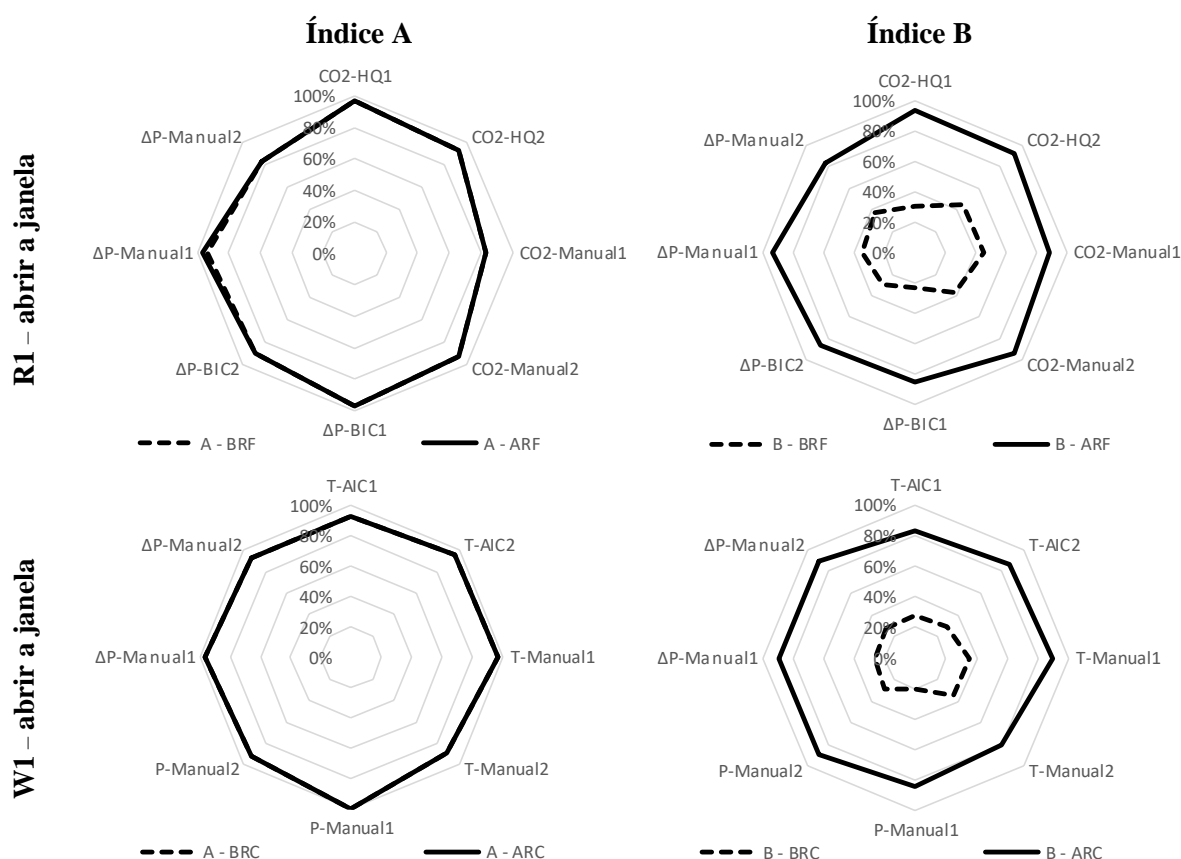
Avaliando a ação de cozinhar, antes dos critérios de refinamento, a melhor configuração levou a um índice A de 98% (uma ação sem detecção) e duas configurações levaram a um A de 85% (nove ações sem detecção). Os valores de B variaram entre 20% e 31%. Essas configurações usaram parâmetros T, P e  $\Delta P$ , e penalty AIC, BIC e Manual. Após a aplicação os critérios de refinamento, o índice A permaneceu

o mesmo e o índice B passou a variar de 48% a 81%, representando um decréscimo de "falsos positivos" variando de 42 a 21.

Analisando a ação do aquecimento, antes do 5º Passo, uma configuração levou a um índice A de 100% e outro a um A de 96% (uma ação sem detecção), bem como um índice B de 28% e 37%, respectivamente. Essas configurações usaram apenas os parâmetros T e penalty BIC e manual. Após o 5º Passo, o índice A não mudou significativamente, enquanto o índice B mudou passou a encontra-se entre 72% e 83%, representando um decréscimo de "falsos positivos" passando a ser de 9 e 4, respectivamente.

Com base na exposição acima apresentada, é possível determinar a configuração do "R Package" "change point" que representam o melhor equilíbrio dos índices A e B. A Tabela 40 apresenta a melhor configuração encontrada pela metodologia proposta para cada uma das ações estudadas.

Também foi possível concluir que o uso do sensor de CO<sub>2</sub> era plausível, e mesmo o melhor parâmetro a usar como indicador, quando se observa uma presença longa de ocupantes num compartimento, prévia à ocorrência da ação. Esta condição apenas ocorre na detecção da abertura da janela em R1 que se verificou sempre pela manhã, depois de os ocupantes acordarem. No entanto, também foi possível observar que o parâmetro  $\Delta P$  mostrou bons resultados na detecção dessa ação.



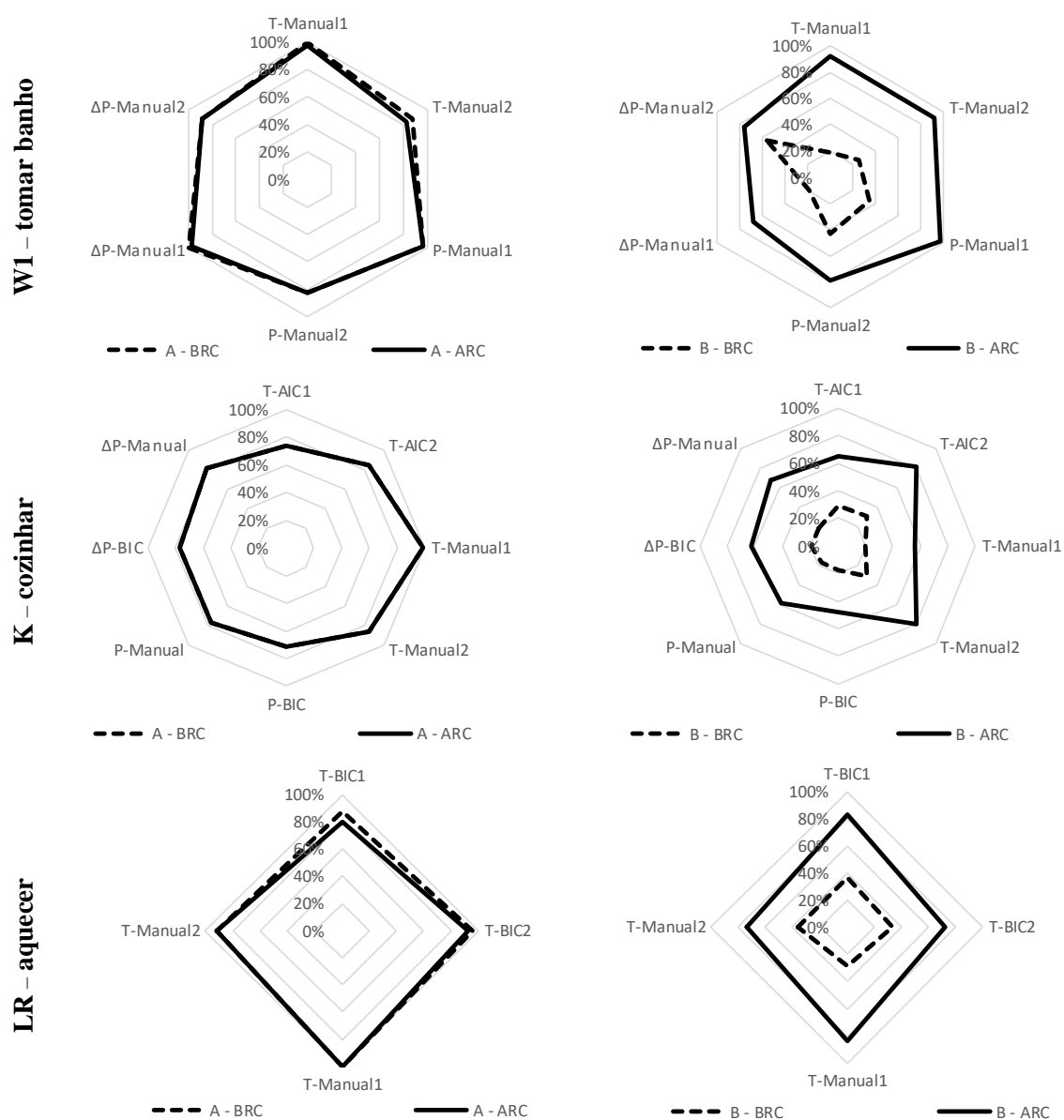


Figura 107 – Índice A e B antes e depois da aplicação dos critérios de refinamento.

Tabela 40 – Melhor configuração do CPA para cada uma das ações estudadas.

Ação	Índice A	Índice B	Parâmetro	Penalty	Método
R1 – abrir a janela	97%	93%	CO <sub>2</sub>	Hannan-Quinn	BinSeg
W1 – abrir a janela	96%	90%	$\Delta P$	Manual	PELT
W1 – tomar banho	97%	97%	P	Manual	PELT
K – cozinhar	85%	81%	T	AIC	PELT
LR – aquecer	100%	83%	T	Manual	PELT

Como critério utilizado para se considerar os pontos de mudança detetados pelo CPA como uma correta detecção (correspondência com uma ação que realmente ocorreu), foi admitindo uma precisão de  $\pm 4$  intervalos de medição. Se esse critério mudar para  $\pm 1$  ou  $\pm 7$  intervalos de medição, os índices A e B seriam diferentes. A Figura 108 mostra as configurações apresentadas na Tabela 40, que apresentaram os melhores ponderados dos Índices A e B considerando o intervalo de precisão de  $\pm 4$  intervalos de medição para cada ação, com a alteração dessa precisão para  $\pm 1$  e  $\pm 7$  intervalos de medição. É possível ver que os índices A e B não variaram muito com a redução da precisão de  $\pm 4$  intervalos de medição para  $\pm 7$ . No entanto, ao aumentar a precisão de  $\pm 4$  intervalos de medição para  $\pm 1$ , o índice A diminuiu para todas as ações em mais de 20%, e apenas na ação “aquecer” o valor permaneceu acima do nível de 80%. Ao aumentar a precisão de  $\pm 4$  intervalos de medição para  $\pm 1$ , em todas as ações, exceto no aquecimento, o valor B foi reduzido em quase 40%, sendo esse valor de 20% na ação de aquecimento. Assim, o valor do Índice B passou a ser de sensivelmente 60% para as ações de "aquecimento no compartimento LR" e "abertura de janela em R1", e um valor ainda inferior para as outras ações.

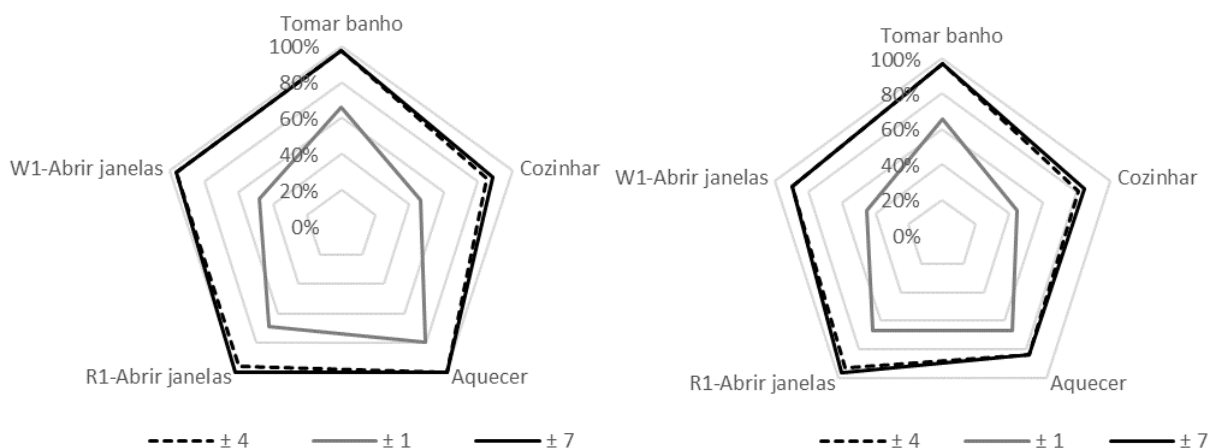


Figura 108 – Índice A (esq.) e índice B (dir.) em função da precisão considerada para detetar ações na CPA.

#### 6.2.3.3. Validação da metodologia

Resumindo, durante um ano de monitorização, existiam 2 meses cuja ocorrência das ações era conhecida através dos registos solicitados aos ocupantes e através dos sensores reed switch instalados no caso de estudo. O “R Package” “changepoint” foi usado para detetar essas ações conhecidas. Para tal, criaram-se dois índices A e B, para se controlar a percentagem de “verdadeiros positivos” detetados e restringir o número de “falsos positivos”, tendo-se estipulado os valores de 80% e 20%, respetivamente, como mínimos admissíveis. Foi analisada a melhor configuração do “R Package” “changepoint” e o melhor critério de refinamento que levou aos índices A e B mais altos (Tabela 40), usando 1 mês durante o qual as ações eram conhecidas. Este método implica uma comparação entre o ponto de mudança dado pelo software de CPA e a ocorrência da ação conhecida. Posteriormente, para validar a metodologia, a configuração selecionada no “R Package” através de um determinado mês foi utilizada para cada ação, conforme indicado na Tabela 40, e testada num mês diferente, no qual as ações também eram conhecidas. Este procedimento serviu para validar a metodologia, apresentando-se os resultados da Figura 109 à Figura 113. Para as ações de “abrir a janela”, “banho” e “cozinhar”, o conjunto de dados utilizados para validar a metodologia foi de uma estação diferente e para a ação de “aquecer” os dados eram da mesma estação.

Os pontos de mudança detetados, usando a metodologia proposta, podem ser vistos da Figura 109 à Figura 113 como linhas verticais laranja. As linhas verticais tracejadas, vermelhas, representam as ações que foram conhecidas através dos registos dos ocupantes e sensores reed switch, mas não detetadas pelo CPA, e destacadas em azul são os “falsos positivos”, ou seja, as ações erradamente detetadas pelo CPA.

Para a ação “abrir janelas” no compartimento R1, pode-se observar na Figura 109 que apenas uma ação não foi detetada. As outras quatro ações apresentadas a vermelho tracejado na Figura 109, foram efetivamente detetados, mas sem cumprir a precisão estabelecida que foi de  $\pm 4$  intervalos de medição.

Para a ação “abrir janelas” em W1 (Figura 110), três das ações detetadas erradamente foram devidas à precisão imposta.

Considerando a ação de “tomar banho” (Figura 111), apenas uma ação não foi detetada, e é evidente que a causa foi o impacto relativamente baixo na pressão do vapor de água causada pela ação. As nove ações erradamente detetadas ocorreram sempre perto da meia-noite.

Relativamente à ação de “cozinhar” (Figura 112), cinco das ações que não foram detetadas são devidas à precisão imposta ou seja, as ações são detetadas, mas não com a precisão definida ( $\pm 4$  intervalos de medição). O motivo das outras ações não detetadas é o impacto causado pela ação na temperatura medida. Nesses casos, o ato de cozinhar não levou a um aumento de temperatura tão significativo como a mesma ação na grande maioria das ocorrências, o que significa que o penalty escolhido na configuração do “R Package” não captou essas ações. As ações que foram erroneamente detetadas ocorreram, sem exceção, perto da meia-noite. Isso pode ser explicado pelo fato de que o sensor de temperatura estar a detetar outra ação do ocupante. De acordo com as informações transmitidas pelos ocupantes, esta ação é o ato de passar a ferro.

Considerando a ação de “aquecer”, apenas uma deteção estava errada. Analisando a Figura 113, o CPA não conseguiu detetar ações de aquecimento no compartimento LR responsáveis por um aumento de temperatura inferior a 3 °C. Essa variação de temperatura é menor do que a variação média produzida por esta ação.

Algumas das discrepâncias encontradas entre a deteção de CPA e os registos dos ocupantes e dos sensores reed switch estão relacionadas com a precisão escolhida na metodologia ( $\pm 4$  intervalos de medição). No entanto, os registos podem ter imprecisões e há também uma incerteza inerente aos sistemas de monitorização. Também é possível que, ocasionalmente, a mudança detetada pelo CPA corresponda a uma ação do ocupante incomum que produz variações semelhantes nos parâmetros medidos pelo sensor.



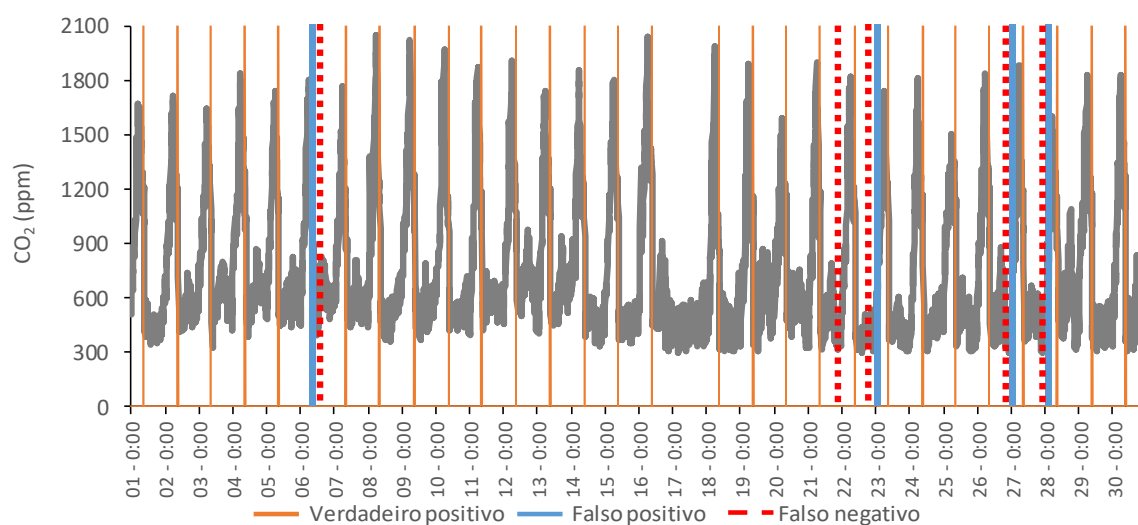


Figura 109 – Validação da metodologia – R1 – abrir as janelas.

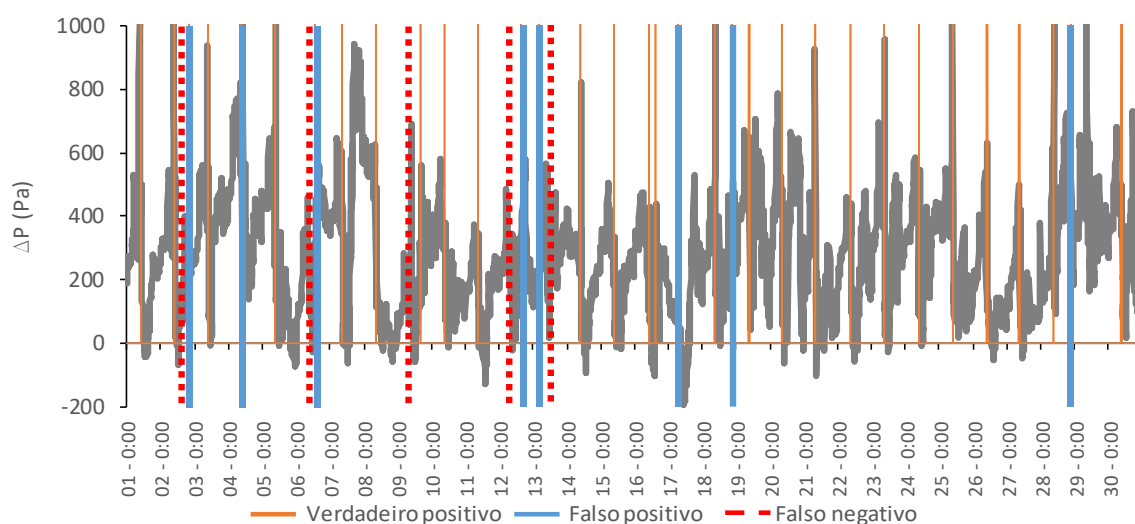


Figura 110 – Validação da metodologia – W1 – abrir as janelas.

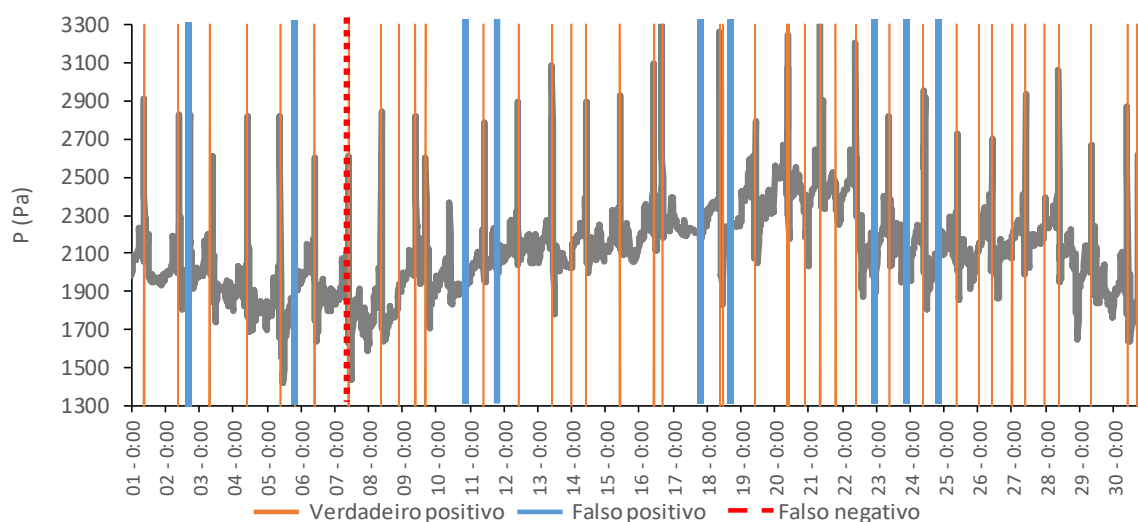


Figura 111 – Validação da metodologia – W1 – tomar banho.

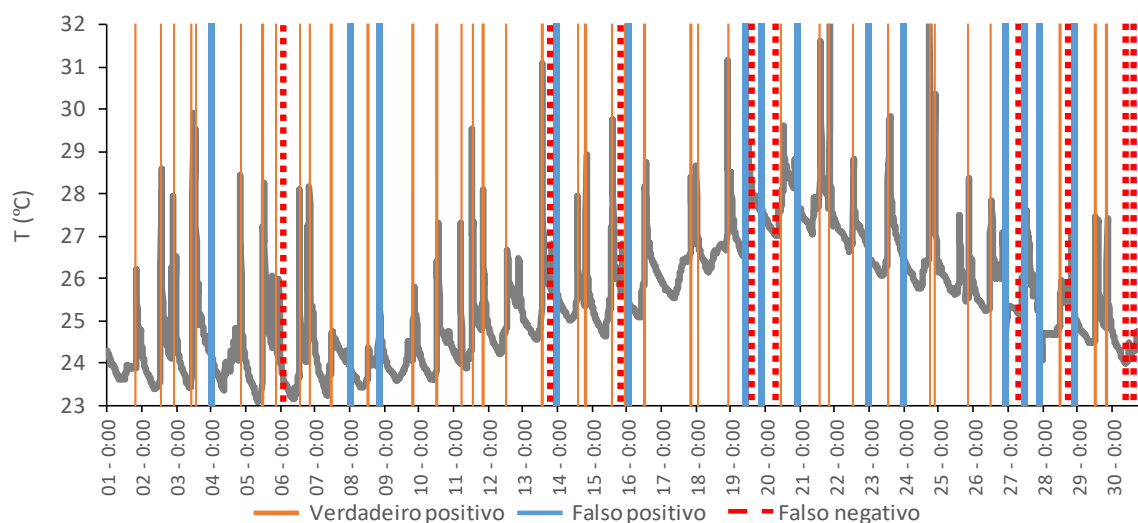


Figura 112 – Validação da metodologia – K – cozinhar.

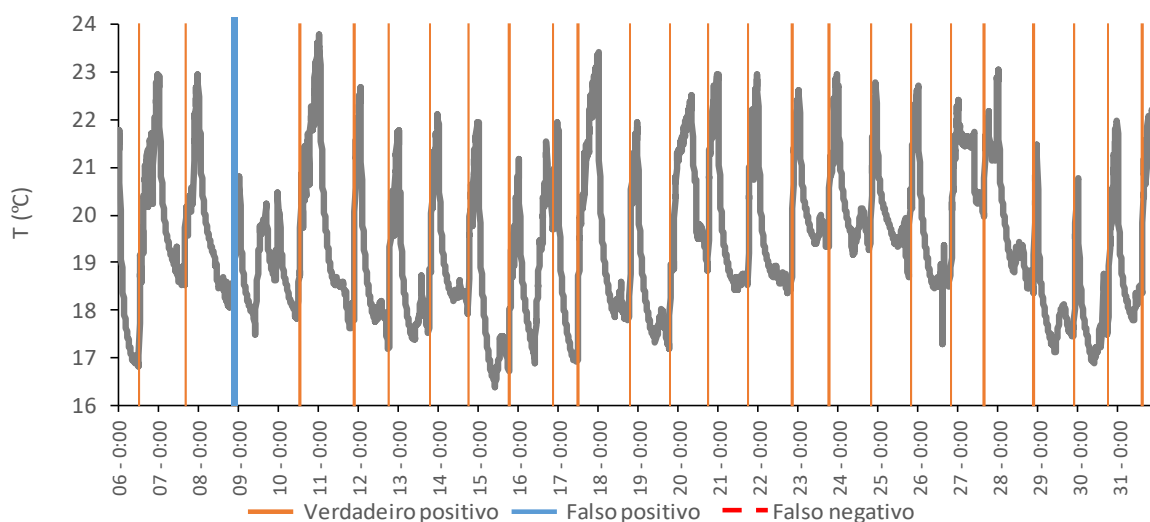


Figura 113 – Validação da metodologia – LR – aquecer.

Os índices A e B resultantes deste procedimento de validação e, como tal, dos resultados obtidos a partir dos dados usados para criar os gráficos da Figura 109 à Figura 113, são apresentados na Tabela 41. É possível observar que os valores dos índices A e B obtidos não são muito diferentes dos obtidos na Tabela 40. Isto significa que a configuração do programa de CPA que se alcançou através da otimização dos índices de A e B a partir de um mês cujas ações eram conhecidas numa estação do ano conseguiu bons resultados quando aplicada num mês de uma estação diferente. Os resultados do índice A na ação “tomar banho” manteve-se igual (97%), e o índice B relativo à ação “aquecer” acabou por aumentar, passando de 83% a 96%. No geral, existiu uma redução de 5,5% para o índice A e de 5,2% no índice B.

Tabela 41 – Índices A e B obtidos na validação da metodologia.

Ação	Índice A	Índice B	Parâmetro	Penalty	Método
R1 – abertura da janela	93%	88%	CO <sub>2</sub>	Hannan-Quinn	BinSeg
W1 – abertura da janela	81%	76%	$\Delta P$	Manual	PELT
W1 – tomar banho	97%	84%	P	Manual	PELT
K – cozinhar	82%	75%	T	AIC	PELT
LR – aquecer	96%	96%	T	Manual	PELT

Há algumas limitações que podem ser apontadas a esta metodologia:

- A sua aplicabilidade foi verificada num estudo de caso sem sistema de ar condicionado. O uso desta metodologia com um sistema ar condicionado em funcionamento permanente pode levar a algumas dificuldades em distinguir o que é uma ação dos ocupantes ou o impacto do sistema de climatização;
- Durante certos períodos, os valores de  $\Delta T$  e  $\Delta P$  podem ser muito próximos de 0. Isto pode impedir o uso da metodologia para detetar algumas ações que exigem que esta diferença entre o interior e o exterior existam, como por exemplo a abertura das janelas. A metodologia é essencialmente adequada para detetar ações no inverno ou no verão, em edifícios que não dependem de um sistema contínuo de ar condicionado.

### 6.3. TRATAMENTO DE DADOS - MÉTODO DAS VARIAÇÕES SUCESSIVAS

Este subcapítulo pretende contribuir para o estudo do comportamento dos ocupantes através da criação de uma nova metodologia para a deteção das ações dos ocupantes de edifícios. Os objetivos desta nova metodologia são idênticos aos apontados no subcapítulo anterior (6.2). No entanto, pretendeu-se com esta metodologia melhorar a precisão alcançada na deteção de ações dos ocupantes para  $\pm 1$  intervalo de medição, face aos  $\pm 4$  intervalos de medição conseguidos com a metodologia anterior. Esta nova metodologia não utiliza a ferramenta estatística de CPA utilizando-se procedimentos automatizados em folhas de cálculo onde existam as séries temporais criadas através de sistemas de monitorização com sensores de ambiente interior de T, HR e CO<sub>2</sub>. A deteção da ocorrência de ações dos ocupantes é efetuada através da análise dos impactos que as ações provocam nas séries temporais, avaliando-se as variações em intervalos sucessivos.

#### 6.3.1. METODOLOGIA DE DETEÇÃO DAS AÇÕES DOS OCUPANTES - VARIAÇÕES SUCESSIVAS

A metodologia permite detetar as ações dos ocupantes dos edifícios através de um algoritmo baseado no princípio da variação dos parâmetros monitorizados entre intervalos consecutivos. Neste trabalho, a metodologia é apresentada e testada, utilizando-se os dados de monitorização do ambiente interior do caso de estudo. A metodologia proposta baseia-se numa base de dados de treino (BDTreino) constituída pelos dados monitorizados em 8640 instantes. Foram usados os dados correspondendo a 4320 instantes de medição na estação de inverno como base de dados para a criação do algoritmo (BDCriação) e outros 4320 dados da estação de verão como base de dados para verificação do algoritmo (BDVerificação).

A metodologia proposta assenta nos seguintes princípios:

- Os dados monitorizados e a informação dos registos dos ocupantes permitem criar uma série temporal;
- A deteção de ações ocorre por análise da variação da tendência dos parâmetros monitorizados, consequência da existência de ações dos ocupantes;
- Na série temporal, os percentis extremos dos parâmetros ambientais correspondem aos impactos das ações dos ocupantes;
- É usado um conjunto de “dados de treino” cujas ações são conhecidas (através de registos dos ocupantes e sensores específicos para detetar ações dos ocupantes) para treinar o algoritmo de deteção de ações. No presente caso os “dados de treino” correspondiam a 8640 instantes de medição;
- Consideram-se ações corretamente detetadas quando distam  $\pm 1$  intervalo de medição ( $\pm 10$  min) do instante conhecido para a ocorrência da ação.

A metodologia apresentada é constituída por três etapas:

A **Etapla 01** compreende a fase de pré-processamento de dados cujo objetivo final é a criação de uma base de dados sem erros de medição e de cálculo. Esta etapa constitui um dos processos mais importantes. Esta etapa pode ser morosa, devendo ser adotadas estratégias de deteção automática de erros e omissões. Este processo permite eliminar os dados omissos ou que correspondem a valores corrompidos. No caso em estudo, para além dos parâmetros recolhidos diretamente a partir da monitorização e a partir dos registos dos ocupantes, são ainda calculados outros parâmetros ambientais, nomeadamente: a pressão parcial de vapor de água (P) através da equação (8) e as diferenças de temperatura ( $\Delta T$ ) e de pressão de vapor de água ( $\Delta P$ ) entre o interior e o exterior, em cada instante. Por fim, uma vez que o princípio seguido para a deteção das ações dos ocupantes se baseia na variação dos parâmetros entre dois intervalos consecutivos, é necessário o cálculo dos seguintes “parâmetros variação”:

- Temperatura (Var. T) de acordo com a equação (43);
- Pressão parcial de vapor de água (Var. P) de acordo com a equação (43);
- Dióxido de carbono (Var. CO<sub>2</sub>) de acordo com a equação (43);
- Diferença de T entre o interior e o exterior da fração (Var.  $\Delta T$ ) de acordo com a equação (44);
- Diferença de P entre o interior e o exterior da fração (Var.  $\Delta P$ ) de acordo com a equação (44).

Nesta etapa são criadas 3 bases de dados (Figura 114):

- Base de dados total (BDTotal) - a partir da monitorização dos parâmetros ambientais, criou-se a BDTotal constituída por “parâmetros variação” (Var. T; Var. P; Var. CO<sub>2</sub>; Var.  $\Delta T$ ; Var.  $\Delta P$ ) de todo o período de monitorização;
- Base de dados de treino (BDTreino) - a partir dos dados dos registos dos ocupantes e dos sensores que detetam diretamente ações dos ocupantes foi possível identificar os instantes da ocorrência das ações dos ocupantes em dois períodos distintos, um na estação de verão e outro na estação de inverno. Contudo, no caso da ação de aquecer (A5), foram considerados dois meses de invernos, não consecutivos. Juntamente com os dados dos parâmetros ambientais para os mesmos períodos (provenientes da BDTotal) criou-se a BDTreino contendo assim os instantes de ocorrência das ações (A1 a A5) e os parâmetros ambientais para um total de 8640 instantes de medição. A BDTreino foi dividida em duas. Os dados correspondentes à estação de inverno servem para a criação do algoritmo de deteção de ações

(BDTCriação) e os dados correspondentes à estação de verão servem para verificar a eficácia do algoritmo criado na detecção das ações dos ocupantes (BDTVerificação). Decidiu-se usar dados correspondentes a estações opostas nas duas bases de dados uma vez ser esta a situação mais desfavorável para a verificação do algoritmo;

- Base de dados das ações (BDAções) – a partir da BDTreino foi criada uma base de dados apenas com os “parâmetros variação” no momento ( $\pm 1$  intervalo de medição) da ocorrência de cada uma das ações (A1 a A5). À semelhança do descrito para a BDTreino, esta base de dados também se divide em duas, em função do papel que desempenham - BDACriação e BDAVerificação. Sendo que o primeiro será usado no processo de criação do algoritmo e o segundo no processo de verificação da eficácia do algoritmo. O primeiro corresponde à estação de inverno e o segundo à estação de verão. Esta é a base de dados utilizada para se perceber se as variações provocadas pelas ações nos parâmetros monitorizados correspondem a extremos da série temporal.

$$\text{Var. } X = \frac{X_t - X_{t+1}}{X_t} \quad (43)$$

Onde:

$X_t$  - corresponde a valores do interior da fração no instante “t” e toma valores de temperatura, pressão de vapor de água e  $\text{CO}_2$ .

$$\text{Var. } \Delta X = (X_{t+1} - X_{te+1}) - (X_t - X_{te}) \quad (44)$$

Onde:

$X_{te}$  - corresponde a valores do exterior no instante “t” e toma valores de temperatura e pressão de vapor de água.

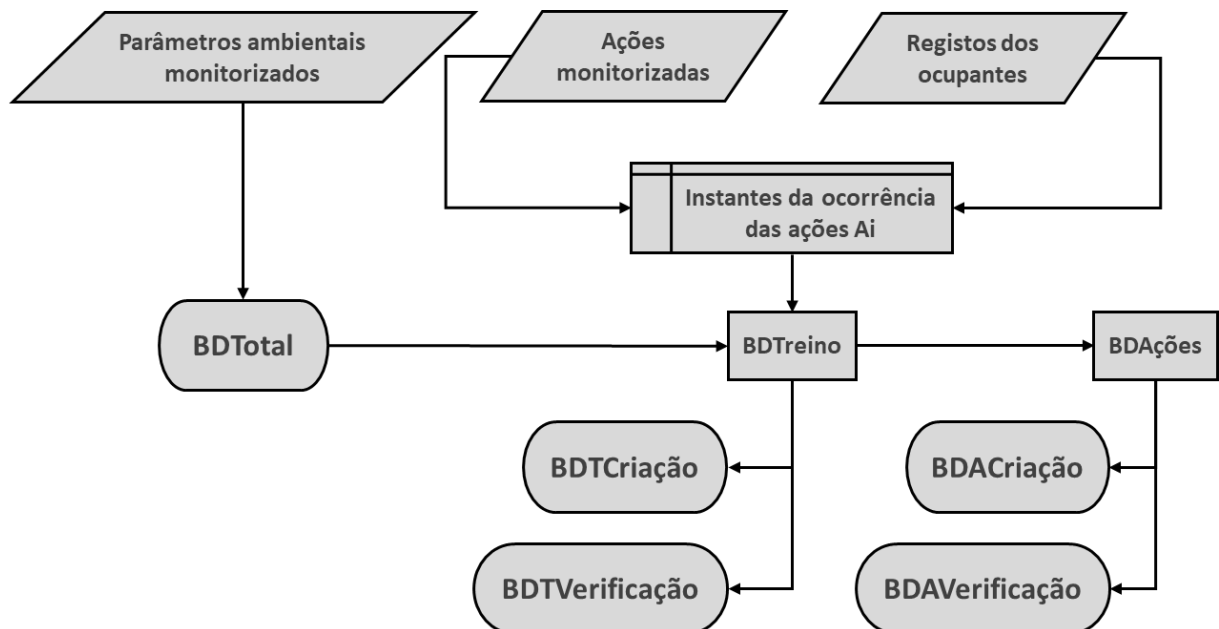


Figura 114 – Fluxograma da Etapa 01 – criação de base de dados.

A **Etapa 02** é o processo de extração de conhecimento da base de dados. É a etapa mais sensível e complexa da metodologia proposta, culminando com a criação de um algoritmo para a detecção de ações tendo por base os “dados de treino”. Este processo é automático apresentando-se na Figura 115 o seu fluxograma, que compreende as seguintes etapas:

- Um dos princípios mais importantes da metodologia proposta é que os valores extremos da série temporal são provocados pelas ações dos ocupantes que se pretendem detetar. Deste modo, o processo inicia-se com o teste da hipótese inicial onde se afirma que os dados da BDAções são valores extremos da BDTreino para cada “parâmetro variação”. Este processo é conseguido através de um mecanismo automático de otimização do índice dos percentis ( $k$ ) para cada um dos “parâmetros variação” em função das condições apresentadas na equação (45). Na referida equação (45) estão presentes dois índices, o índice A, obtido através da equação (41), indica a percentagem de “verdadeiros positivos” de acordo com Fawcett (2006) e o índice B, obtido através da equação (42), é um indicador de precisão de acordo com Fawcett (2006). Deste modo, a verificação da hipótese inicial está integrada no processo utilizado para detetar as ações a partir dos dados monitorizados (BDTCriação). Este processo para detetar as ações consiste na imposição de restrições aos dados (BDTCriação) a partir dos percentis extremos ( $P_k$ ) da BDACriação, existindo assim uma separação entre os instantes onde ocorreram as ações (extremos da série) e os outros instantes, caso a hipótese inicial se verifique. Neste processo de otimização do índice  $k$  dos percentis da BDACriação, o  $k$  é maximizado quando os impactos das ações pertencem ao extremo inferior da BDTCriação, sendo o  $k$  minimizado quando os impactos das ações estão do extremo superior;
- De modo a perceber-se se há necessidade de incrementar novos “parâmetros variação -  $j$ ” e, consequentemente restrições ao algoritmo de detecção de ações, criou-se um novo índice, o C. Este índice é igual ao índice B mas é apenas obtido após se aplicar um critério de refinamento que estipule uma distância mínima entre as ações detetadas. Este critério justifica-se uma vez que uma ação impacta com a mesma tendência os parâmetros por um determinado período de tempo e não em apenas um instante de medição. Caso este critério não fosse aplicado, a metodologia detetava a mesma ação, em intervalos de medição sucessivos, até que a mesma deixasse de impactar os parâmetros monitorizados. Deste modo, até que a condição indicada da equação (46) seja cumprida, serão incrementados os “parâmetros variação” que cumpriram os requisitos da equação (45);
- Encontrado o algoritmo através dos dados provenientes da BDTCriação, o mesmo é testado na BDTVerificação. Lembra-se que esta base de dados é proveniente de uma estação diferente dos dados que permitiram a criação do algoritmo. Caso o algoritmo volte a cumprir os critérios da equação (46) considera-se que o algoritmo está verificado e pronto para ser usado na etapa 03 da metodologia proposta.

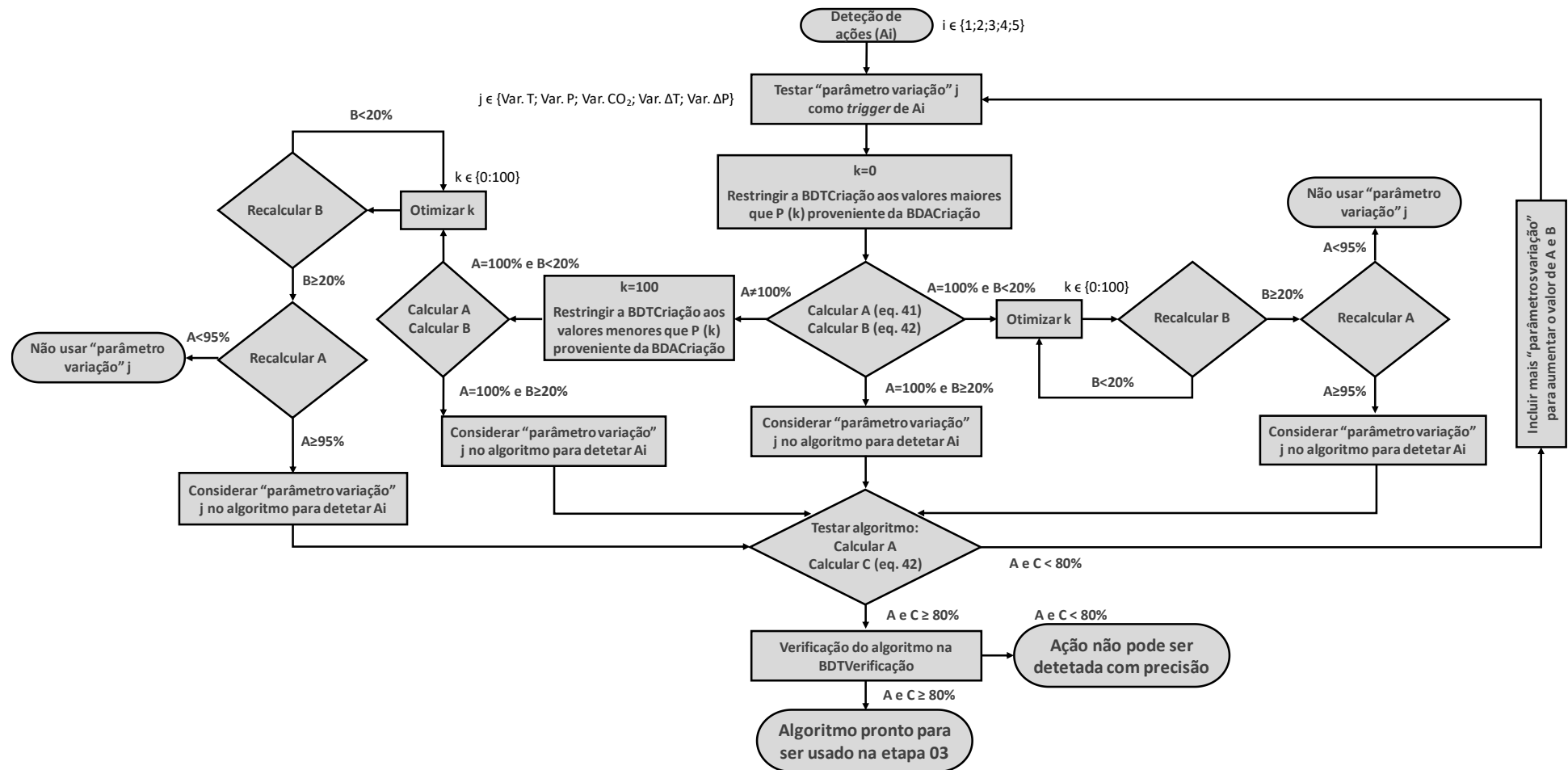


Figura 115 – Fluxograma da Etapa 02 – algoritmo para detecção de ações.

$$\text{maximizar ou minimizar "k" tal que } A \geq 95\% \text{ e } B \geq 20\% \quad (45)$$

Onde:

k – índice do percentil  $P_{(k)}$

A – índice definido na equação (41)

B – índice definido na equação (42)

$$\text{incrementar "j" até que } A \geq 80\% \text{ e } C \geq 80\% \quad (46)$$

Onde

j – parâmetro variação (Var. T; Var. P; Var.  $CO_2$ ; Var.  $\Delta T$ ; Var.  $\Delta P$ )

C – Índice C

A **Etapa 03** corresponde à fase de implementação da metodologia. Uma vez que o algoritmo de detecção das ações já se encontra devidamente treinado e validado, é feita a sua aplicação na série completa de dados (BDTotal), detetando-se assim as ações dos ocupantes ao longo de todo o período de monitorização.

As metodologias foram avaliadas principalmente em função de “matrizes confusão” e de dois índices criados neste trabalho baseados em parâmetros dessa matriz.

A matriz confusão é uma tabela com regras de preenchimento específicas (Tabela 42) que permitem a visualização do desempenho de um algoritmo (Fawcett 2006). Cada linha da matriz representa as instâncias em uma classe prevista, enquanto cada coluna representa as instâncias de uma classe real (ou vice-versa). O nome deriva do facto desta matriz permitir identificar de forma mais fácil as classes que estão a ser confundidas.

Tabela 42 – Interpretação da matriz confusão.

		Classificação real	
		Positivos	Negativos
Classificação preditiva	Positivos	Verdadeiros Positivos	Falsos Positivos
	Negativos	Falsos Negativos	Verdadeiros Negativos

## 6.3.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.3.2.1.Exemplo do funcionamento do Método das Variações Sucessivas

Como descrito na Etapa 01 da metodologia, constroem-se duas bases de dados a partir da BDTotal e dos registos dos ocupantes, a BDTcriação e a BDACriação, essenciais para o processo de criação do algoritmo de detecção das ações, referente à Etapa 02. A Etapa 02 corresponde a um processo automatizado, contudo, explica-se de seguida o procedimento de cálculo efetuado pelo algoritmo programado na folha de cálculo.



Dando como exemplo a ação dos ocupantes A1, o procedimento de cálculo testa inicialmente todos os “parâmetros variação” obtendo-se os respectivos índices A e B. Estes índices resultam do teste dos referidos parâmetros como indicadores (triggers) da ocorrência da ação. Consegue-se perceber o funcionamento da metodologia de forma visual com o apoio de box plots (Figura 116). A BDACriação – A1 contém os “parâmetros variação” Var. T registados no momento da ocorrência das ações A1 enquanto a BDTCriação, contém todos os valores do “parâmetro variação” Var. T do período de treino. Observando-se os valores de Var. T da BDACriação-A1 da Figura 116, a primeira constatação é que a ação A1 provoca essencialmente variações de temperatura (Var. T) negativas. Ou seja, abrir a janela A1 diminui a temperatura interior. Deste modo serão usados os percentis do extremo superior como indicador da ocorrência da ação, como se pode observar pela linha vermelha apresentada na Figura 116. Como definido na Etapa 02 da metodologia, para que um “parâmetro variação” seja considerado um bom indicador da ocorrência de uma determinada ação, os seus percentis extremos (obtidos na BDACriação) tem que corresponder a percentis extremos do polo oposto na BDTCriação. Neste caso, não se pode considerar que o “parâmetro variação” Var. T, provocado pela ação A1, corresponda a valores extremos da BDTCriação uma vez que o valor máximo (P100) obtido na BDACriação corresponde ao percentil 87 (P87) da BDTCriação. Deste modo, é de esperar que existam muitos “falsos positivos” considerando o “parâmetro variação” Var. T como indicador da ocorrência da ação A1. Restringindo os valores obtidos da BDTCriação apenas aos valores inferiores ao P100 da BDACriação como indicado na seta vermelha da Figura 116, obtém-se 4178 hipotéticas ações, sendo que apenas 29 estão corretamente detetadas (“verdadeiros positivos”). Assim, o índice A é de 100%, mas o B é de apenas 0,7%. Diminuindo-se índice k do percentil para o limite imediatamente abaixo do estipulado como mínimo admissível através da equação (45), consegue-se subir o B para apenas 2%. Assim, considera-se que este “parâmetro variação” não poderá ser considerado como indicador da ação A1. Por outro lado, pode-se observar na Figura 117 através da linha vermelha horizontal, o P100 do “parâmetro variação” Var. P da BDACriação corresponde ao P1,5 da BDTCriação o que indica que os impactos da A1 neste “parâmetro variação” correspondem aos valores extremos inferiores monitorizados. Deste modo, restringindo os valores da BDTCriação a todos aqueles que são inferiores ao P100 da BDACriação, obtém-se 66 hipotéticas ações, sendo que apenas 29 são “verdadeiros positivos”, correspondendo a um índice A de 100% e um índice B de 44%. Assim, cumprem-se os requisitos mínimos estipulados para que Var. P possa ser considerado como um bom indicador da ocorrência da ação A1. No entanto, para se saber se há a necessidade de aumentar os “parâmetros variação” (j), é necessário introduzir outra condição que estabeleça uma distância mínima entre as ações detetadas. Esta condição é idêntica à referida no 5º passo da metodologia anterior. Uma vez que uma ação impacta os parâmetros monitorizados durante vários instantes de medição e não apenas um, é importante considerar apenas o primeiro instante onde a variação foi detetada e ignorar as variações sucessivas fruto da mesma ação. Deste modo, obtém-se o índice C que foi de 100% o que significa que foram detetadas apenas 29 ações não existindo “falsos positivos”. Assim sendo, não há a necessidade de aumentar o número de “parâmetros variação” a incluir no algoritmo de deteção de ações, terminando-se o processo.

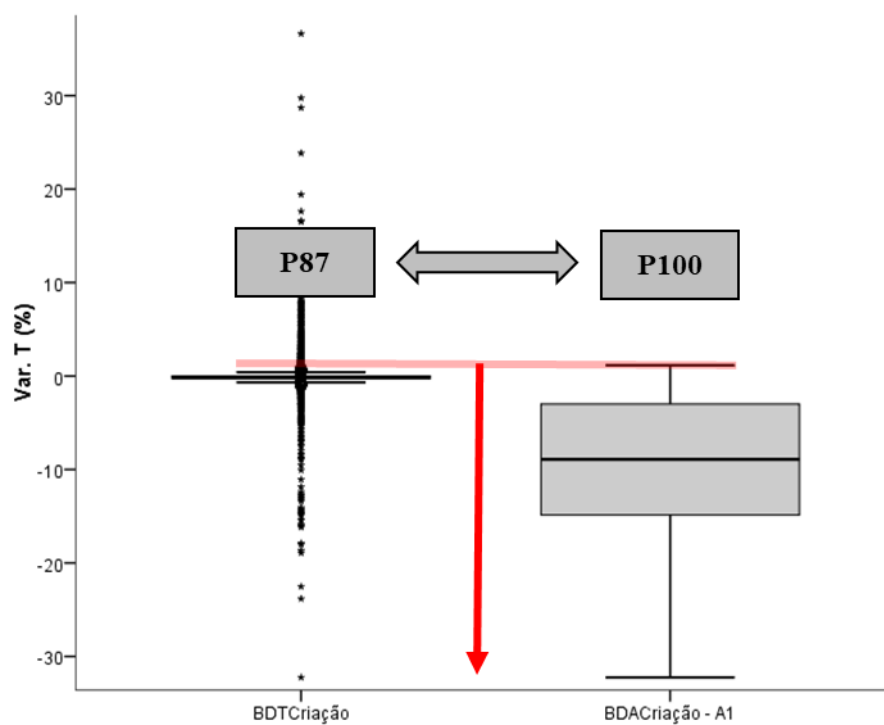


Figura 116 – Exemplo de aplicação da metodologia das variações sucessivas com o “parâmetro variação” Var. T  
– A1

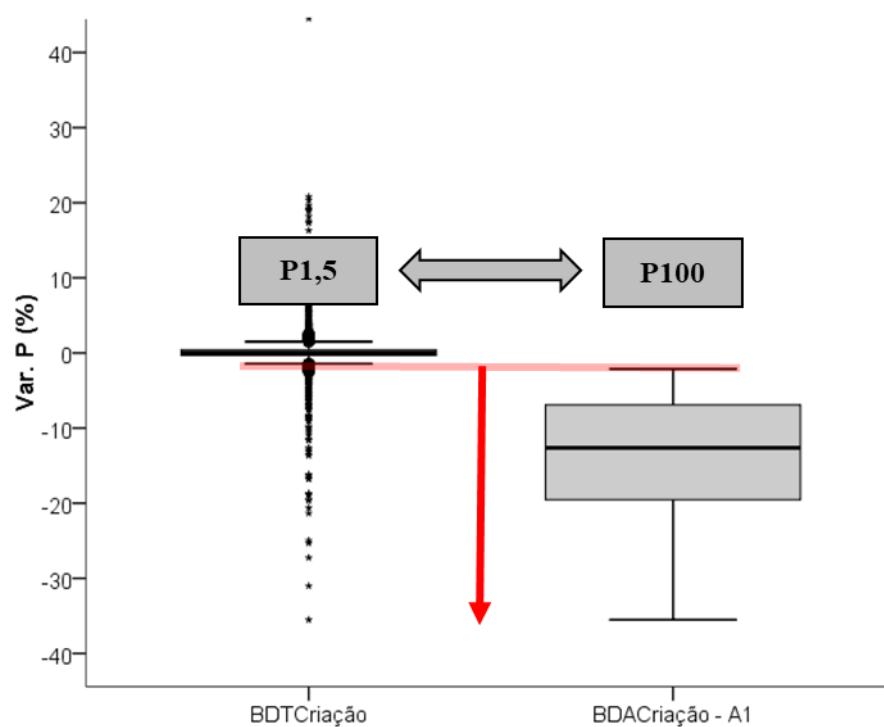


Figura 117 – Exemplo de aplicação da metodologia das variações sucessivas com o “parâmetro variação” Var. P  
– A1

### 6.3.2.2. Aplicação da metodologia

Aplicando os procedimentos acima descritos a todas as ações e “parâmetros variação”, obtiveram-se os índices A e B apresentados na Tabela 43.

Tabela 43 – Índices A e B dados pelas equações (41) e (42), respetivamente.

Ação	“Parâmetro variação”	P <sub>k</sub>	Índice A Eq. (41)	Índice B Eq. (42)
A1	Var. T	P <sub>95</sub>	94%	2%
	Var. ΔT	P <sub>95</sub>	94%	9%
	Var. P	P <sub>100</sub>	100%	44%
	Var ΔP	P <sub>100</sub>	100%	35%
	Var. CO <sub>2</sub>	P <sub>95</sub>	94%	7%
A2	Var. T	P <sub>100</sub>	100%	22%
	Var. ΔT	P <sub>97</sub>	96%	20%
	Var. P	P <sub>100</sub>	100%	52%
	Var ΔP	P <sub>100</sub>	100%	55%
	Var. CO <sub>2</sub>	P <sub>95</sub>	94%	10%
A3	Var. T	P <sub>0</sub>	100%	46%
	Var. ΔT	P <sub>25</sub>	94%	2%
	Var. P	P <sub>0</sub>	100%	97%
	Var ΔP	P <sub>0</sub>	100%	95%
	Var. CO <sub>2</sub>	P <sub>25</sub>	94%	5%
A4	Var. T	P <sub>0</sub>	100%	42%
	Var. ΔT	P <sub>5</sub>	94%	17%
	Var. P	P <sub>0</sub>	100%	24%
	Var ΔP	P <sub>5</sub>	95%	20%
A5	Var. T	P <sub>0</sub>	100%	22%
	Var. ΔT	P <sub>0</sub>	100%	30%
	Var. P	P <sub>5</sub>	92%	5%
	Var ΔP	P <sub>5</sub>	92%	2%

Através da análise gráfica da distribuição dos dados da BDACriação, BDTCriação e BDTotal, apresentada pelos box-plot da Figura 118 à Figura 127, também é possível observar quais os “parâmetros variação” que podem funcionar como indicadores da ocorrência das ações. Nos box plot dos parâmetros

variação que cumprem os critérios da equação (45) para a detecção da A1, apresentados na Figura 118, pode-se visualizar que os valores máximos da BDACriação possuem um valor aproximado ao valor mínimo da BDTreino e BDTTotal, excluindo os valores atípicos. Os parâmetros variação incluídos nestes gráficos, Var. P e Var  $\Delta P$  são os que conseguiram atingir um parâmetro A de 100% e um parâmetro B de 44% e 35%, respectivamente. Deste modo, pode-se afirmar que, impondo como restrição às BDTCriação e BDTTotal o P100 da BDACriação não se retira qualquer ação da base de dados ( $A = 100\%$ ) e restringem-se bastante os dados que não correspondem a ações (B elevado). Por outro lado, no box plot da Figura 119 apresenta-se o parâmetro variação que mais longe ficou de cumprir os critérios impostos pela equação (45). Pode-se observar neste caso que o valor máximo na BDACriação corresponde a valores atípicos da BDTTotal e BDTCriação, mas no mesmo extremo superior. Deste modo, os “parâmetros variação” Var. P e Var  $\Delta P$  da BDACriação correspondem a valores extremos opostos da BDTTotal e BDTCriação o que permite que sejam bons indicadores da ocorrência da ação A1 por possibilitarem a restrição dos dados àqueles que se pretende encontrar. Numa situação oposta está o “parâmetro variação” Var.T.

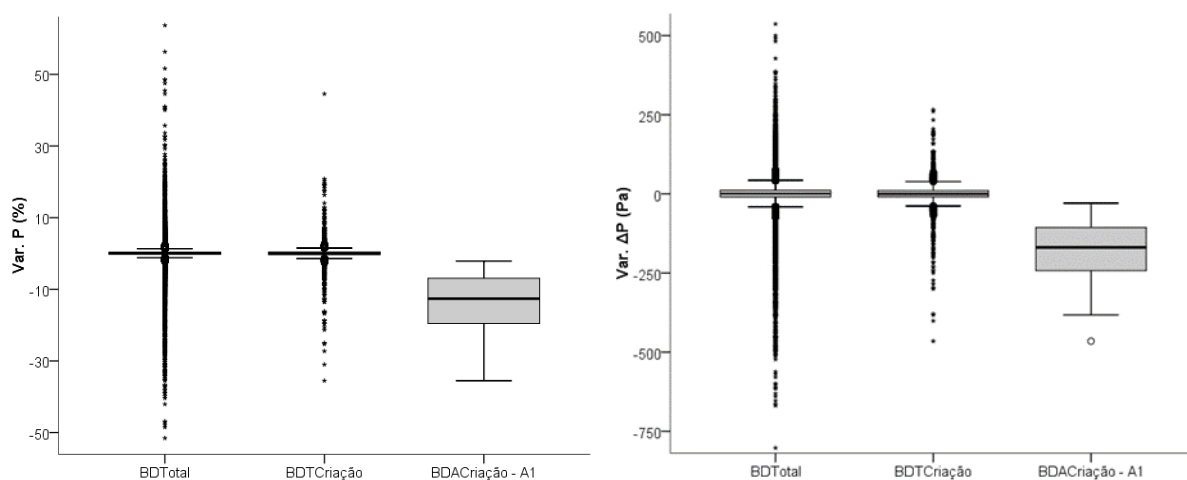


Figura 118 – A1 – Parâmetros variação que cumprem os critérios imposto na equação (45) - Var. P (cima esq.) e Var.  $\Delta P$  (cima dir.).

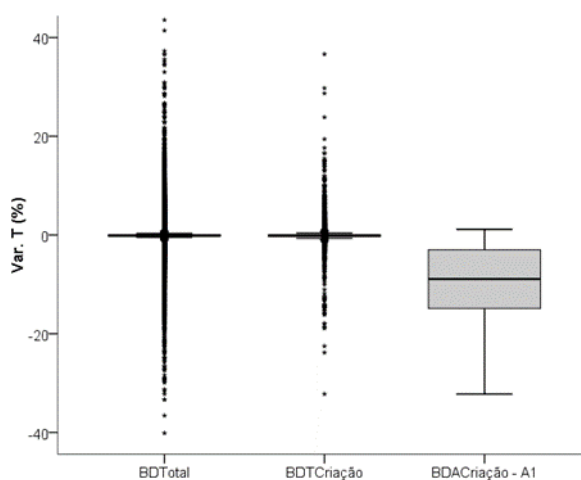


Figura 119 – A1 – Parâmetro variação que não cumpre os critérios imposto na equação (45) - Var. T.

Nos box plot dos parâmetros variação que cumprem os critérios da equação (45) para a detecção da A2, apresentados na Figura 120, pode-se visualizar que os valores máximos da BDACriação possuem um valor aproximado dos valores inferiores, considerados atípicos, nos box-plot da BDTCriação e BDTotal. Os parâmetros variação incluídos nestes gráficos, Var. T, Var.  $\Delta T$ , Var. P e Var.  $\Delta P$  são os que conseguiram atingir um parâmetro A de 100%, 96%, 100% e 100%, respectivamente e um parâmetro B de 22%, 20%, 52% e 55%, respectivamente. Por outro lado, no box plot da Figura 121 apresenta-se o parâmetro variação (Var. CO<sub>2</sub>) que não cumpriu os critérios impostos pela equação (45). Pode-se observar neste caso que o valor máximo deste parâmetro na BDACriação corresponde a valores entre o P25 e o valor mínimo excluindo os valores atípicos da BDTotal e BDTCriação. Deste modo, os “parâmetros variação” Var. T, Var.  $\Delta T$ , Var. P e Var.  $\Delta P$  da BDACriação correspondem a valores extremos da BDTotal e BDTCriação o que permite que sejam bons indicadores da ocorrência da ação A2. Indica-se ainda que os “parâmetros variação” Var. P e Var.  $\Delta P$  são os melhores parâmetros pois apresentam um valor de B superior ao dobro dos outros. Numa situação oposta está o “parâmetro variação” Var.CO<sub>2</sub> que, apesar de permitir uma restrição considerável dos valores das BDTotal e BDTCriação não é suficiente para cumprir os critérios da equação (45).

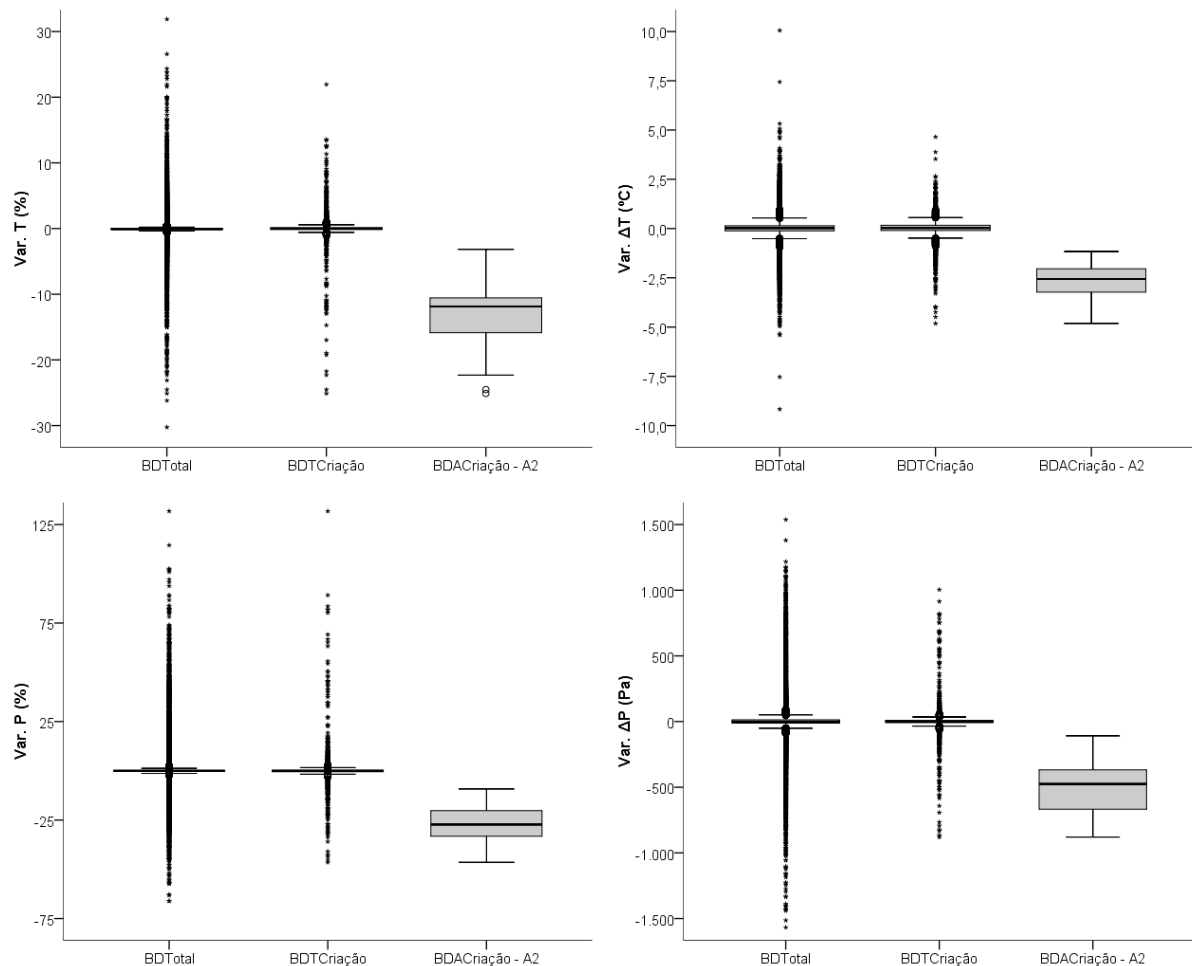


Figura 120 – A2 – Parâmetros variação que cumprem os critérios imposto na equação (45) - Var. T (cima esq.), Var.  $\Delta T$  (cima dir.), Var. P (baixo esq.) e Var.  $\Delta P$  (baixo dir.).

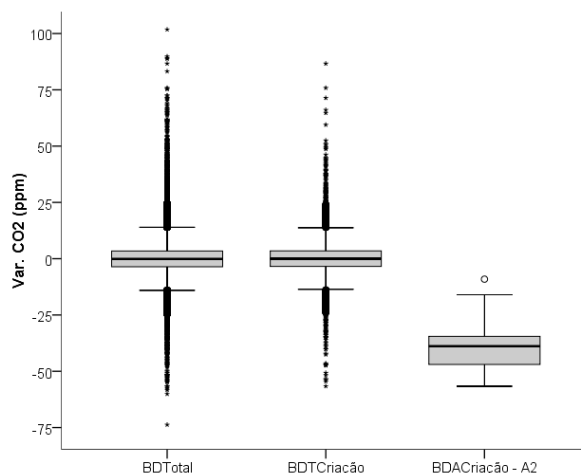


Figura 121 – A2 – Parâmetro variação que não cumpre os critérios imposto na equação (45) - Var. CO<sub>2</sub>.

Nos box plot dos parâmetros variação que cumprem os critérios da equação (45) para a detecção da A3, apresentados na Figura 122, pode-se visualizar que os valores mínimos da BDACriação correspondem aos valores superiores, considerados atípicos, nos box-plot da BDTCriação e BDTTotal. Os parâmetros variação incluídos nestes gráficos, Var.T, Var.P e Var.ΔP são os que conseguiram atingir um parâmetro A de 100% e um parâmetro B de 46% 97% e 95%, respetivamente. Pode-se observar neste caso que o valor mínimo deste “parâmetro variação” na BDACriação corresponde a valores próximos da mediana na BDTTotal e BDTCriação. Uma vez que a restrição dos lados da BDTTotal e BDTCriação através do valor mínimo dos “parâmetros variação” Var. T, Var. P e Var ΔP da BDACriação conduziria a poucos valores (valor de B alto), sem erradamente deixar de fora qualquer ação que se pretende detetar (valor de A de 100%) consideram-se bons indicadores da ocorrência da ação A3. Realça-se que os “parâmetros variação P e ΔP são melhores que o T por apresentarem um valor de B perto do dobro. Por outro lado, no box plot da Figura 123 apresenta-se o parâmetro variação (Var.ΔT) que não cumpriu os critérios impostos pela equação (45). O “parâmetro variação” Var.ΔT uma vez que apenas divide os dados de BDTTotal e BDTCriação a meio, não é considerado um bom indicador da ocorrência para detetar a ação A3.

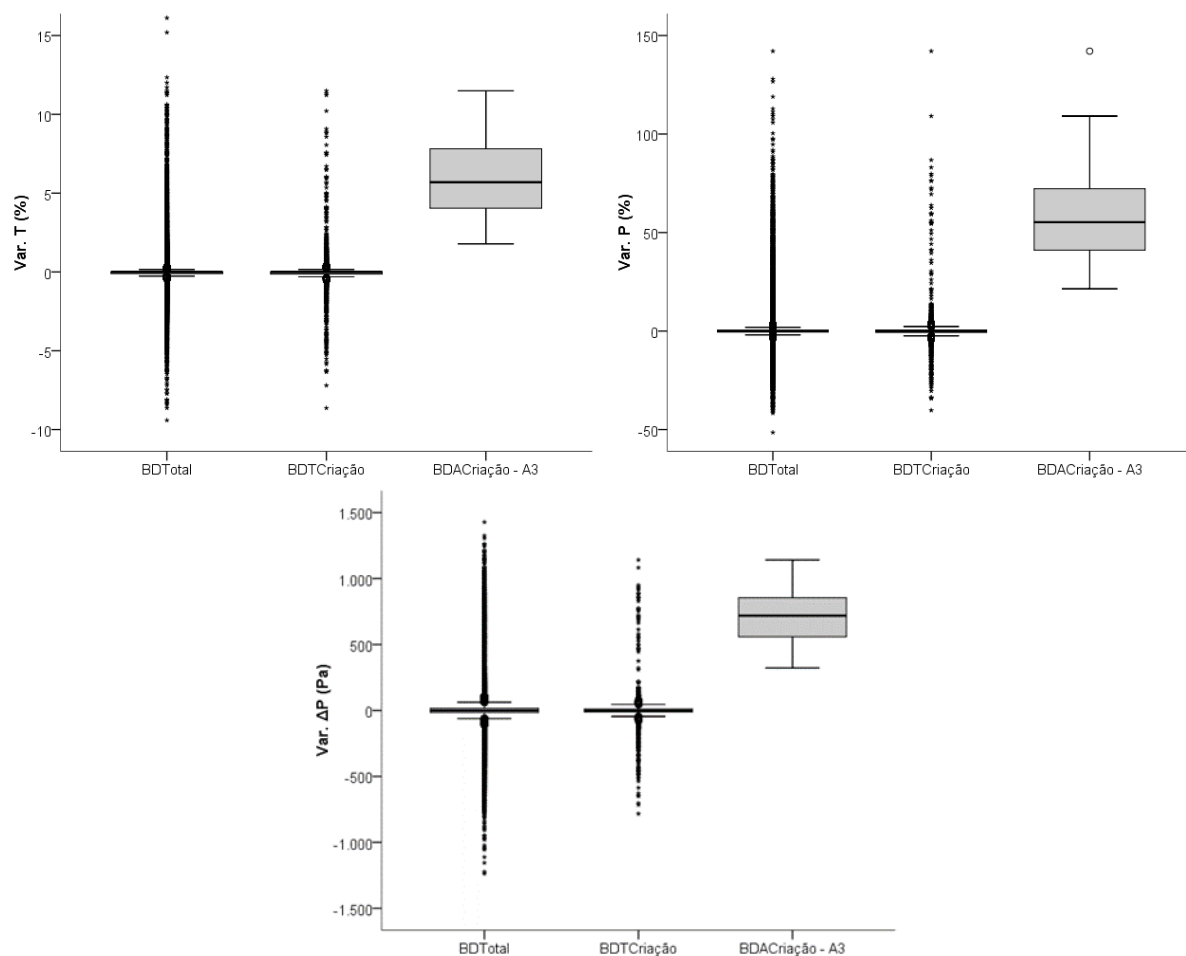


Figura 122 – A3 – Parâmetros variação que cumprem os critérios imposto na equação (45) - Var.T (cima esq.), Var.P (coma dir.), Var.ΔP (baixo.).

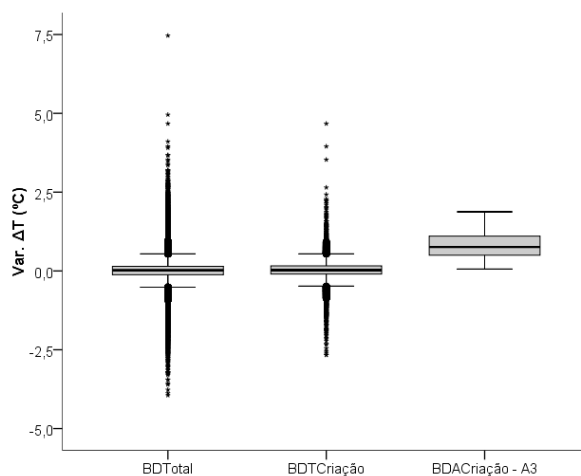


Figura 123 – A3 – Parâmetro variação que não cumpre os critérios imposto na equação (45) - Var.ΔT.

Nos box plot dos parâmetros variação que cumprem os critérios da equação (45) para a detecção da A4, apresentados na Figura 124, pode-se visualizar que os valores mínimos da BDACriação correspondem

aos valores superiores, próximo dos valores considerados atípicos, nos box-plot da BDTCriação e BDTTotal. Os parâmetros variação incluídos nestes gráficos, Var.T, Var.P e Var. $\Delta$ P são os que conseguiram atingir um parâmetro A de 100%, 100% e 95%, respetivamente e um parâmetro B de 42% 24% e 20%, respetivamente. Neste caso, de modo a que o “parâmetro variação” Var.  $\Delta$ P cumprisse os critérios da equação (45), houve uma otimização (automática) do valor de P(k), aumentando para o percentil 5, de modo a que o valor do índice B atingisse os 20%. No entanto, o valor de A baixou por consequência direta. Uma vez que a restrição dos lados da BDTTotal e BDTCriação através do valor de P0 do “parâmetro variação” Var.T conduziu a valores do índice de B de cerca do dobro dos obtidos nos parâmetros, Var.P e Var. $\Delta$ P, considera-se que este é o melhor indicador da ocorrência da ação A4, podendo no entanto utilizar-se os outros, apesar de estarem no limiar de cumprir os requisitos da equação (45). Por outro lado, no box plot da Figura 125 apresenta-se o parâmetro variação (Var. $\Delta$ T) que não cumpriu os critérios impostos pela equação (45). Pode-se observar neste caso que o valor mínimo deste “parâmetro variação” na BDACriação corresponde a valores próximos da mediana na BDTTotal e BDTCriação. O “parâmetro variação” Var. $\Delta$ T uma vez que apenas divide os dados de BDTTotal e BDTCriação a meio, não cumprindo os critérios da equação (45), não deve ser usado como indicador da ocorrência da ação.

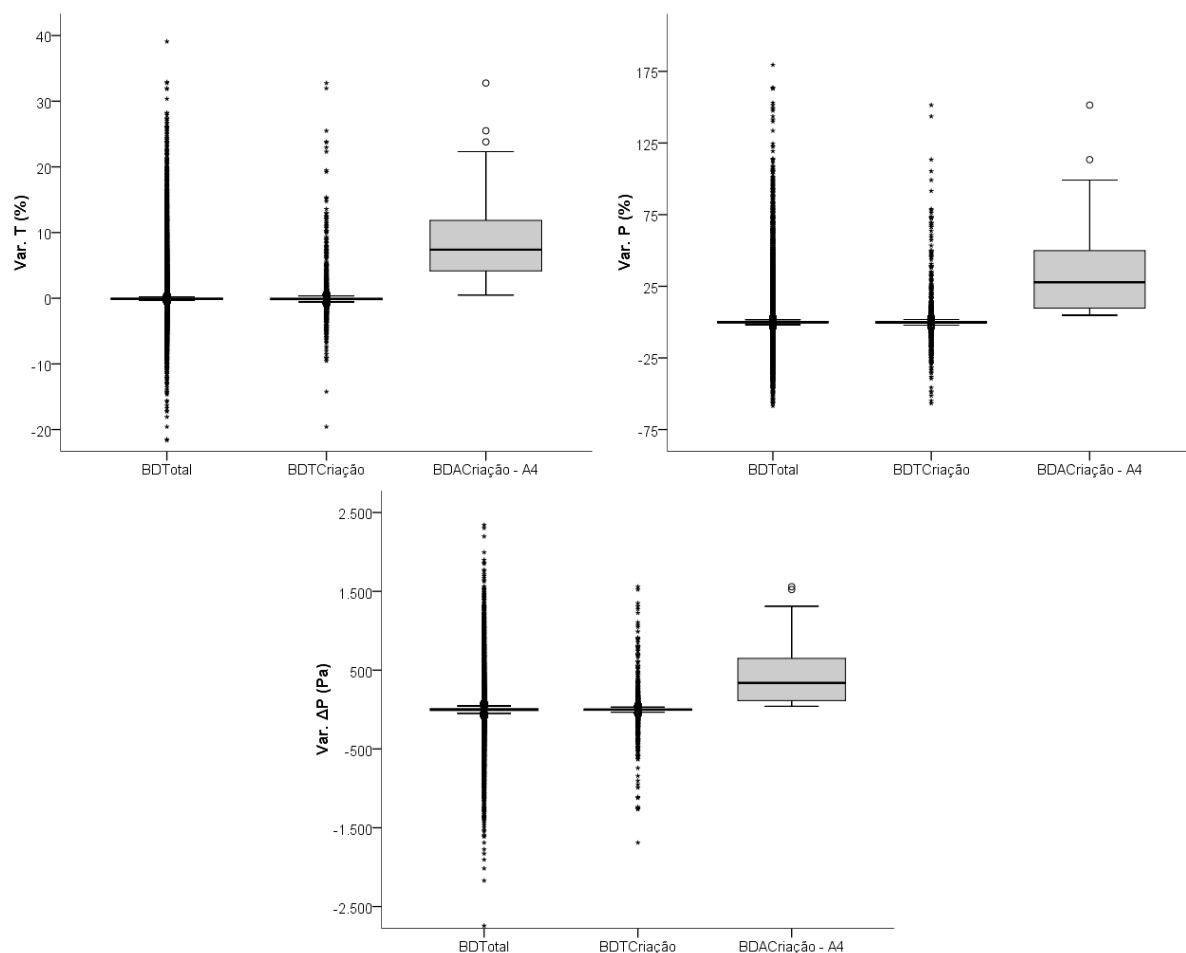


Figura 124 – A4– Parâmetros variação que cumprem os critérios imposto na equação (45) - Var. T (cima esq.), Var. P (cima dir.), Var.  $\Delta$ P (baixo).



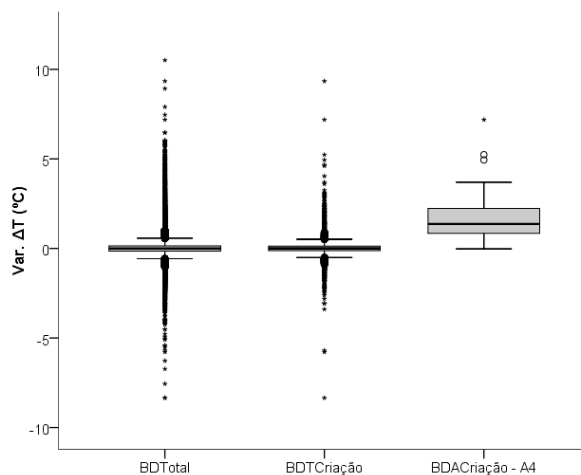


Figura 125 – A4– Parâmetro variação que não cumpre os critérios imposto na equação (45) - Var.  $\Delta T$ .

Nos box plot dos “parâmetros variação” que cumprem os critérios da equação (45) para a detecção da A5, apresentados na Figura 126, pode-se visualizar que os valores mínimos da BDACriação correspondem aos valores superiores, próximo dos valores considerados atípicos, nos box-plot da BDTreino e BDTCriação. Os “parâmetros variação” incluídos nestes gráficos, Var.T e Var. $\Delta T$  são os que conseguiram atingir um parâmetro A de 100% e um parâmetro B de 22% e 30%, respectivamente. Uma vez que a restrição dos lados da BDTotal e BDTCriação através do valor de P0 dos “parâmetros variação” Var.T e Var. $\Delta T$  conduziu a valores do índice de B pouco acima do limite de 20% imposto pela equação (45), dificilmente poderá usar-se um destes parâmetros individualmente como indicador da ocorrência da ação A5, uma vez que são encontrados muitos períodos que não correspondem a ações. Por outro lado, no box plot da Figura 127 apresenta-se o parâmetro variação (Var. $\Delta P$ ) que não cumpriu os critérios impostos pela equação (45). Pode-se observar neste caso que a distribuição de valores deste “parâmetro variação” na BDACriação não difere muito dos box-plots da BDTotal e da BDTCriação. O “parâmetro variação” Var. $\Delta P$  não poderá por isso ser usado como indicador da ocorrência da ação A5.

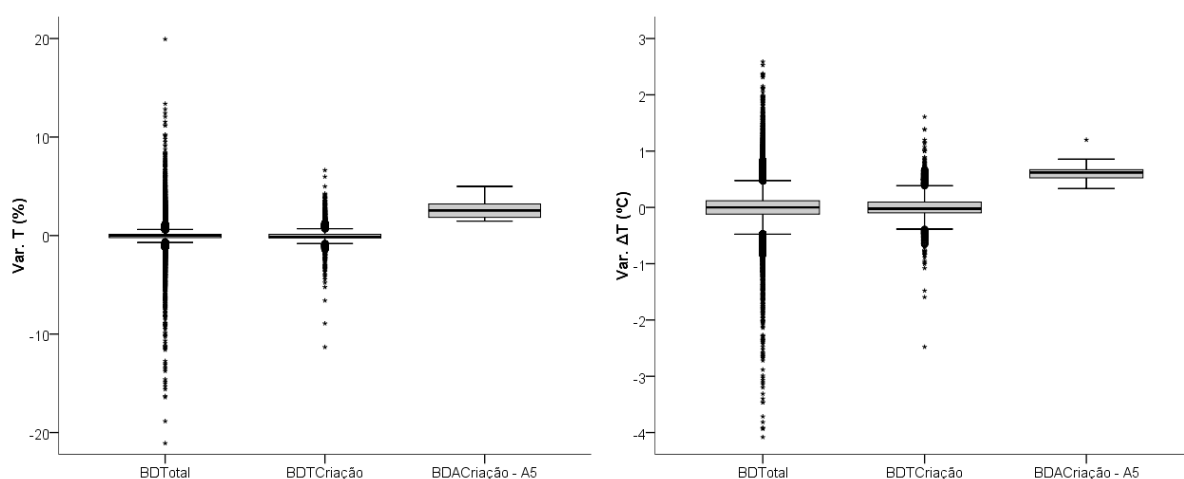


Figura 126 – A5 – Parâmetros variação que cumprem os critérios imposto na equação (45) - Var.T (esq.), Var. $\Delta T$  (dir.).

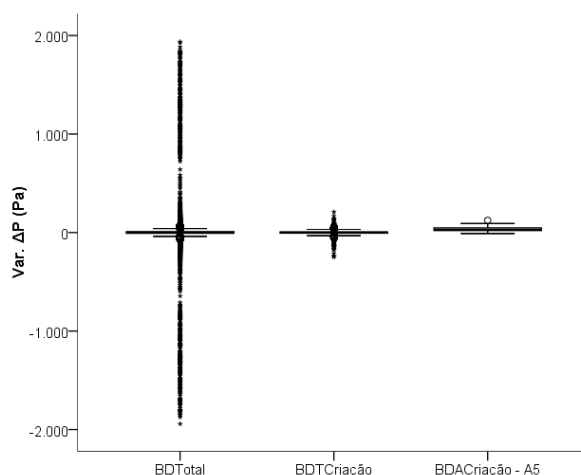


Figura 127 – A5– Parâmetro variação que não cumpre os critérios imposto na equação (45) - Var.  $\Delta P$ .

Resumindo, os “parâmetros variação” que cumprem as restrições da equação (45) e por isso são considerados bons indicadores da ocorrência das ações que se pretendia detetar, são apresentados de seguida:

- Var. P e Var.  $\Delta P$  – A1;
- Var. T, Var.  $\Delta T$ , Var. P e Var.  $\Delta P$  – A2;
- Var T, Var. P e Var.  $\Delta P$  - A3;
- Var T, Var. P e Var.  $\Delta P$  – A4;
- Var T e Var.  $\Delta T$  – A5.

Após a seleção dos “parâmetros variação” que cumprem a hipótese inicial e são por isso extremos da BDTCriação, passou-se à criação do algoritmo de deteção de ações. Deste modo, foi seguido o procedimento indicado na metodologia e imposta uma distância mínima entre as deteções de ações sucessivas, criando-se um algoritmo composto por restrições do parâmetro variação com melhores índices A e C ou pela conjugação dos melhores parâmetros. Apresenta-se na Tabela 44 os resultados parciais e finais do processo de criação dos algoritmos a partir da BDTCriação, em função dos índices A e C.

Tabela 44 – Índices A e C obtidos no processo de verificação do algoritmo.

Ação	Parâmetro Variação	Índice A	Índice C
A1	Var. P	100%	100%
	Var. P	100%	61%
A2	Var. $\Delta P$	100%	61%
	Var. P e Var. $\Delta P$	100%	67%
A3	Var. P	100%	100%
	Var. T	94%	85%
A4	Var. P	84%	41%
	Var. T e Var. P	96%	90%
	Var. T	92%	70%
A5	Var. $\Delta T$	92%	67%
	Var. T e Var. $\Delta T$	92%	92%

### 6.3.2.3. Validação da metodologia

Como descrito na metodologia, terminado o processo de criação do algoritmo tendo por base a BDTCriação, procedeu-se à validação do algoritmo num conjunto de dados diferente daqueles que serviram de base à sua criação. Assim, testaram-se os algoritmo que apresentaram melhores índices A e C da Tabela 44 na BDTVerificação, resumindo-se na Tabela 45 e na Figura 128 os índices A e C resultantes. Através da sua análise é possível verificar o seguinte:

- Para as ações A1, A3, A4 e A5 consegue-se superar os valores de 80% nos índices A e C definidos como indicadores de qualidade para a deteção de ações através da equação (46);
- A deteção da abertura de janelas é mais eficaz em ambientes com reduzido RPH e com ocupação prolongada. Em locais com forte RPH, como é o caso da W1 (devido à extração mecânica), o efeito da abertura das janelas aproxima-se da extração mecânica do VMC, sendo por isso difícil de os distinguir. Mesmo assim, conseguiram-se índices A e C muito próximos de 80% para a ação A2.

Tabela 45 – Valores do parâmetros A e C utilizados para validação.

Ação detetada	Ref. Ação	BDTCriação		BDTVerificação	
		A	C	A	C
Abrir as janelas – R1	A1	100%	100%	83%	89%
Abrir as janelas – W1	A2	100%	67%	78%	75%
Tomar banho – W1	A3	100%	100%	92%	97%
Cozinhar – K	A4	96%	90%	87%	94%
Ligar o aquecimento – LR	A5	92%	92%	96%	92%

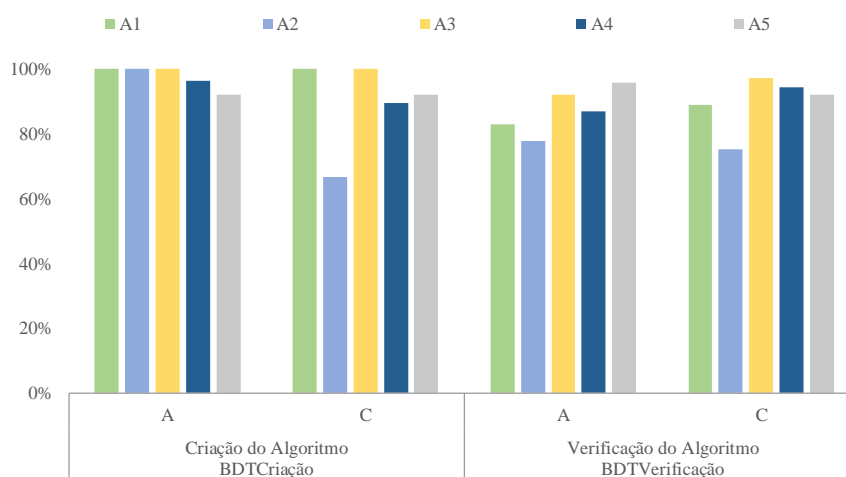


Figura 128 – Valores dos parâmetros A e C utilizados para validação.

#### 6.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO

No sentido de se perceber melhor o comportamento que os ocupantes têm nos edifícios residenciais, é importante conhecer as suas ações. Neste capítulo pretendeu-se criar metodologias para detetar ações do quotidiano dos ocupantes (abrir janelas; tomar banho; cozinhar; aquecer), em função dos dados de ambiente interior (T, HR e/ou CO<sub>2</sub>). Foram criadas duas metodologias:

- A metodologia abordada no capítulo 6.2 corresponde a uma abordagem original utilizando a ferramenta estatística de change point analysis (CPA) como forma de detetar a existência de ações por parte dos ocupantes. Esta ferramenta estatística deteta alterações abruptas em séries temporais pela análise da alteração da distribuição dos dados em função de modelos que se vão ajustando aos dados analisados. De modo a adaptar o uso desta ferramenta estatística à área de estudos do comportamento dos ocupantes, mais especificamente à deteção de ações de ocupantes em ambiente residencial, foi definida uma nova metodologia. Esta metodologia foi testada, conseguindo-se obter resultados satisfatórios com precisão de  $\pm 4$  intervalos de medição;
- No capítulo 6.3 foi apresentada uma metodologia original para detetar as ações dos ocupantes tendo por base sensores de T, HR e/ou CO<sub>2</sub>. Esta metodologia foi criada de forma completamente original, surgindo como alternativa à anteriormente apresentada como forma de melhorar a precisão da deteção das ações. Com esta metodologia, conseguiu-se obter resultados com precisão de  $\pm 1$  intervalo de medição. Para se alcançar uma melhor precisão nesta metodologia face à primeira, existiu um tratamento da base de dados dos parâmetros monitorizados de modo a transformá-los na variação detetada entre intervalos de medição sucessivos. Esta metodologia permite, de um modo completamente automatizado, criar uma série de condições às séries de dados de modo a detetar a localização exata da ocorrência das ações que se pretende estudar.

Ambas as metodologias foram construídas tendo por base um conjunto de dados de treino, (BDTreino) que corresponderam a 1 mês da estação de inverno. Posteriormente, as metodologias foram validadas através da sua aplicação num conjunto de dados diferentes dos anterior. Estes dados correspondem a um mês da estação de verão (BDVerificação). Optou-se por selecionar um mês de cada uma das estações mais extremas de modo a testar a metodologia na situação mais desfavorável. No caso de a ação “aquecer”, a BDVerificação correspondeu a outro mês de inverno de um mês não subsequente àquele que originou a BDTreino.

As duas metodologias propostas permitiram realçar uma das suas principais vantagens que reside na sua versatilidade de uso em diferentes espaços por possuírem um mecanismo de seleção dos melhores parâmetros a serem utilizados no trabalho de deteção, com base num sistema de autoavaliação através dos dois índices propostos. Deste modo, os parâmetros considerados ideais (pelas metodologias) para a deteção de cada ação dependem da ação em si e das características do compartimento. Assim, a metodologia CPA apontou o parâmetro de CO<sub>2</sub> como o mais indicado para detetar a ação de abertura da janela no quarto R1, enquanto que para a mesma ação, na instalação sanitária W1, a diferença da pressão parcial de vapor de água entre o interior e o exterior ( $\Delta P$ ) foi considerado como o parâmetro mais eficiente. No entanto, o parâmetro  $\Delta P$  também revelou bons resultados na deteção de abertura da janela no quarto R1. Relativamente à metodologia das variações sucessivas, no quarto R1 o parâmetro variação “Var. P”, obtido através da variação entre intervalos consecutivos do parâmetro P, foi suficiente para se detetar a ação. No entanto, na instalação sanitária (W1), foi necessário o recurso aos parâmetros variação “Var. P” e “Var.  $\Delta P$ ”.

De modo a avaliar o sucesso do uso das metodologias propostas para a deteção das ações dos ocupantes foi necessário estabelecer dois índices: A e B. De modo a quantificar a aplicabilidade das metodologias, foram criados dois critérios. Estabeleceu-se um limite mínimo de 80% para o índice A para que não se excluíssem muitas ações “verdadeiros positivos”. Para que não se excluísse um número significativo de “falsos positivos”, foi estabelecido um valor mínimo de B antes do critério de refinamento a ser aplicado e de 80% após a sua aplicação. Um terceiro índice foi criado, o C, baseado no índice B, mas aplicado após se efetuarem os critérios de refinamento. Estes critérios de refinamento têm como princípio evitar que a mesma ação seja detetada mais do que uma vez.

Foi possível observar que, mesmo algumas ações não tendo sido detetadas, esse facto deveu-se ao não cumprimento do critério da precisão definida para se considerar uma ação como corretamente detetada ( $\pm 4$  intervalos de medição face ao instante real da ocorrência da ação no caso da metodologia de CPA e  $\pm 1$  intervalo de medição no caso do método das variações sucessivas). Noutros casos, o facto de uma ação não ter sido detetada foi devido à existência de mudanças menos abruptas nas séries temporais. Isto pode ser explicado pela menor duração da ação referida, pela influência de outros agentes sobre os valores que foram medidos pelos sensores ou pela incerteza dos sistemas de medição. Além disso, houve alguns casos em que um “falso positivo” foi causado por imprecisões nos registos dos ocupantes;

A validação da metodologia de CPA, permitiu obter-se uma percentagem de sucesso de 88% na deteção da abertura da janela do compartimento R1 e 76% no compartimento W1, 84% no ato de tomar banho, 75% no ato de cozinhar e 96% no ato de aquecer. Relativamente à metodologia das variações sucessivas, os resultados da validação mostram que quando a validação do algoritmo criado pela metodologia proposta passa o teste da validação, a metodologia é também validada. Para as ações de abertura de janelas no compartimento R1 o sucesso na deteção das ações diminuiu para 83% e na instalação sanitária W1 para 78%. Para a ação de tomar banho desceu para 92%, para o ato de cozinhar para 87% e para o ato de aquecer a percentagem de sucesso da deteção da ação aumentou para 96%.

Tendo em conta os resultados obtidos através das duas metodologias no processo de validação das mesmas num grupo de dados diferente daqueles que serviram para a sua formulação, apresenta-se na Tabela 46 a matriz confusão correspondente. Pode-se observar que ambas as metodologias conseguem ter uma percentagem de sucesso muito elevada na consideração correta da não ocorrência de ações, tendo todos os valores sido superiores a 99%. O principal problema das duas metodologias está na deteção correta das ações, existindo percentagens de sucesso perto dos 80% e na deteção de ações quando elas não ocorreram efetivamente, existindo percentagens de más previsões de cerca de 20%. Através da matriz confusão é possível retirar a exatidão das metodologias (Fawcett 2006), podendo observar-se na Tabela 47 os valores obtidos para cada ação. Todos os valores obtidos foram superiores a 99,5% o que indica uma grande exatidão dos métodos.

Tabela 46 – Matriz confusão das duas metodologias propostas.

Ações	Método de CPA		Método das variações sucessivas	
A1	84,8%	12,1%	75,8%	9,1%
	0,1%	99,9%	0,1%	99,9%
A2	80,6%	25,8%	93,5%	22,6%
	0,2%	99,8%	0,2%	99,8%
A3	97,3%	18,9%	91,9%	2,7%
	0,2%	99,8%	0,0%	100,0%
A4	81,6%	26,5%	87,8%	2,0%
	0,3%	99,7%	0,0%	100,0%
A5	100,0%	4,2%	95,8%	8,3%
	0,0%	100,0%	0,1%	99,9%

Tabela 47 – Exatidão das metodologias propostas.

Ação	Método de CPA	Método das variações sucessivas
A1	99,78%	99,74%
A2	99,68%	99,79%
A3	99,81%	99,91%
A4	99,49%	99,84%
A5	99,97%	99,92%

# 7. CONCLUSÕES

## 7.1. CONCLUSÕES FINAIS

Ao terminar-se este trabalho é possível afirmar que o objetivo geral desta tese de doutoramento foi alcançado. O comportamento dos ocupantes de um edifício residencial foi estudado com sucesso, tendo-se conseguido contribuir em três das vertentes propostas por Hong et al. (2015) para o enquadramento desta disciplina (DNAS – motivações (drivers), necessidades (needs), ações (actions) e sistema/mecanismos (systems)). As contribuições deste trabalho inserem-se na área das necessidades dos ocupantes, ações e motivações.

Considera-se que os objetivos intermédios, inicialmente propostos, foram plenamente atingidos. Conseguiram-se criar protótipos que permitiram monitorizar os ocupantes de diferentes espaços com precisão, fiabilidade e a um custo reduzido. Os impactos dos ocupantes ao nível da temperatura, humidade relativa, concentração de CO<sub>2</sub>, renovações de ar e consumo de energia para aquecimento foram obtidos. Em função dos impactos dos ocupantes das dimensões referidas, foi também possível desenhar alguns perfis dos ocupantes. As motivações que levaram os ocupantes a efetuarem algumas ações na habitação também foram elencadas e hierarquizadas em função dos coeficientes da equação logística que descreve a previsão dessas ações e dos coeficientes de Spearman obtidos nas correlações. Por fim, detetaram-se as ações dos ocupantes através dos dados monitorizados de temperatura (T), humidade relativa (HR) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), utilizando duas metodologias distintas: foi criada uma metodologia baseada na ferramenta estatística de CPA (change point analysis) e foi desenvolvida uma metodologia original baseada na análise dos extremos das variações de parâmetros sucessivos.

O estado da arte apresentado no capítulo 2 identificou um crescimento sustentado, ao longo dos últimos anos, do número de estudos do comportamento dos ocupantes dos edifícios. Foi possível detetar que um dos principais objetivos desses trabalhos é a otimização dos sistemas de gestão e atuação centralizados, tais como: sistemas de automatização de edifícios, “building automated systems” (BAS) | sistemas de gestão de energia, “energy management systems” (EMS) | sistemas de gestão de edifícios, “building management systems” (BMS). Essa otimização é implementada adaptando os sistemas aos hábitos dos ocupantes em função do consumo energético, qualidade do ar interior (QAI) e conforto térmico.

Foi ainda possível constatar os seguintes factos do estado da arte que serviram para orientar o trabalho desenvolvido nesta tese de doutoramento:

- Existe na área de estudos do comportamento dos ocupantes um enquadramento proposto por Hong et al. (2015), constituído por quatro subáreas: o estudo das ações; motivações; necessidades; e sistemas (DNAS – drivers; needs; actions; systems). Contudo, o estudo do comportamento dos ocupantes não se restringe a estes quatro vetores, existindo outros dados

de extrema relevância que não dizem respeito diretamente a estas áreas, como por exemplo o estudo dos impactos dos ocupantes, abordados neste trabalho;

- Foram evidenciados diferentes estudos em edifícios habitacionais onde se referiam dificuldades que começavam pela monitorização e pelo sistema mais correto a adotar. Apesar de existirem no mercado algumas soluções para se instalar nas habitações, nota-se que a sua introdução no mercado é muito recente, não existindo ainda um sistema suficiente abrangente que permita colecionar dados sobre a presença dos ocupantes, as suas ações, os impactos dessas ações, o ambiente interior e exterior. Para tal existe ainda a necessidade de se recorrer a um número de sistemas não integrados que torna o processo de monitorização complicado e suscetível a erros. Considera-se por isso que é importante selecionar bem o sistema de monitorização a adotar uma vez que é ele a base de qualquer algoritmo por trás dos BAS | EMS | BMS;
- Apesar de existirem na bibliografia estudos que usam sensores de temperatura (T), humidade relativa (HR) e/ou de concentração de CO<sub>2</sub> para estudar a ocupação dos edifícios, são poucos os trabalhos que utilizam este tipo de sensores para estudar a ocorrência de ações específicas. Dado que estes sensores são os mais habituais nos sistemas de monitorização orientados para estudos simplificados de conforto térmico e qualidade no ar, julga-se pertinente explorar metodologias que usem estes dados para aferir comportamentos e ações dos ocupantes;
- O uso de inquéritos, para ser preciso, deverá ser utilizado em períodos curtos e como complemento de um sistema de monitorização;
- Diferentes autores apontam a necessidade de se perceber os comportamentos dos ocupantes do ponto de vista das suas preferências e necessidades como uma das principais formas de se reduzir o consumo dos edifícios;
- A consideração errada dos impactos dos ocupantes nos balanços globais do edifício é um dos pontos principais para haver um elevado desfasamento entre o obtido através dos programas de simulação numérica e o realmente monitorizado nos edifícios em serviço. Por esta razão, o número de estudos sobre o impacto dos ocupantes nos edifícios está a crescer. De acordo com o estado da arte, os comportamentos passivos e ativos dos ocupantes com impacto nos consumos de energia dos edifícios, incluindo a abertura de janelas, uso de sombreamento e proteções solares, ajuste do sistema AVAC, uso de água quente, e outros, não são corretamente considerados nos programas de simulação.

O desenvolvimento de três módulos de sensores específicos para a monitorização do comportamento dos ocupantes foi conseguido no âmbito desta tese. No capítulo 3 apresentaram-se os protótipos desenvolvidos e descreveu-se a campanha experimental, destacando-se as seguintes particularidades:

- Foi construído um módulo para detetar as concentrações de CO<sub>2</sub> de baixo custo e com precisão de  $\pm 30$  ppm a com capacidade de medição até 5000 ppm;
- O módulo de temperatura, humidade relativa, presença e iluminância permite, num único módulo de baixo custo, colecionar sensores que permitem a monitorização do ambiente interior assim como da presença dos ocupantes e da sua interação com as proteções solares e iluminação artificial;
- O módulo de “reed switch sensor” permite, num único módulo de baixo custo, identificar o estado da persiana em cinco níveis (aberta, fechada, com os “furos” abertos, mas fechada, metade superior e metade inferior). Pode também detetar o estado da janela em três estados (fechada; até um terço aberta; mais de um terço aberta);
- A posição dos sensores revelou ser importante para o conhecimento que se consegue extrair nos dados monitorizados. Assim, sensores localizados demasiado próximo de zonas singulares de um compartimento podem coletar valores longe da média desse compartimento, mas que



são úteis para se obter informações específicas como a detecção de ações que ocorram sempre nessa zona e quantificar o seu impacto por área de influência;

- A definição de diferentes intervalos de tempo para os registos dos sensores mostrou ser relevante. Considerou-se suficiente o intervalo de medição de 10 minutos para os sensores de temperatura e humidade relativa, contudo, para os dados dos sensores de concentração CO<sub>2</sub> serem utilizáveis para detetar as renovações do ar devido à abertura das janelas, considerou-se imprescindível diminuir o intervalo de medição para pelo menos 1 minuto;
- A caracterização das renovações de ar da habitação e da sua estanquidade permitiu concluir que a fração em estudo está subventilada, sendo necessária a ação dos ocupantes através da abertura das janelas para compensar os caudais de ventilação base da habitação.

No capítulo 4 conseguiu-se detetar e quantificar os impactos de um conjunto de ações consideradas como típicas no quotidiano (ADL). A partir dos resultados obtidos foi possível concluir o seguinte:

- A identificação dos impactos das ações dos ocupantes em edifícios residenciais pode ser obtida através dos coeficientes de correlação, destacando-se o coeficiente de Spearman pelo facto de este ser aplicável a distribuições não normais e poder correlacionar séries de variáveis contínuas com séries de variáveis categóricas;
- De modo a evitar misturar-se os efeitos das diversas ações dos ocupantes que ocorrem em simultâneo, é importante identificar que ações é que cada sensor consegue detetar e qual a intensidade da ação que o atinge. É possível associar cada ação aos sensores através de regressões entre os parâmetros de cada sensor obtidos após determinada ação ter ocorrido;
- No presente caso de estudo, foi possível perceber que os impactos das ações variam bastante em função da distância a que o sensor está do foco da ação. Por exemplo, foi identificado que a ação de abertura de janelas do quarto R1, tem um impacto em média cerca de 10 vezes superior numa zona perto da janela face a uma zona distanciada a cerca de 2 metros. Foi também possível observar que, as ações de abrir as janelas, tomar banho, aquecer e cozinhar, que ocorrem nos compartimentos de serviço onde existem sistemas de extração mecânica ou que ocorrem nos compartimentos principais, ficaram circunscritas a estes compartimentos. Contudo, as alterações efetuadas nos compartimentos de serviço que visaram o sistema de ventilação, como foi a regulação da abertura da grelha do sistema de extração mecânica da instalação sanitária W1, afetaram a ventilação e a qualidade do ar do compartimento contíguo, o quarto R1;
- Ficou demonstrado que os sensores de concentração de CO<sub>2</sub> são equipamentos que permitem detetar pequenas alterações ao modo de funcionamento do sistema de ventilação em compartimentos principais ou de serviço que lhe sejam contíguos;
- O ato de desligar a ventilação mecânica centralizada (VMC) nos prédios multifamiliares tem um grande impacto na ventilação do edifício e na qualidade do ar interior, principalmente no período noturno de ocupação. Foi evidenciado que caso a administração do condomínio não desligasse a VMC, os valores de concentração de CO<sub>2</sub> não ultrapassariam os 1000ppm. Na atualidade o valor máximo obtido no perfil tipo (médio) foi de cerca de 1600ppm;
- O ato de se desligar a VMC leva a que as frações autónomas deixem de estar sempre a ser despressurizadas. No caso em estudo foi encontrado um ligeiro aumento da concentração de CO<sub>2</sub> no período noturno em que a VMC estava desligada (das 3 às 6, aproximadamente) nos dias em que a fração estava desocupada. Esta situação deve-se à eventual comunicação de ar entre as frações sobrejacentes e subjacentes nos períodos sem extração de ar por via mecânica;
- A alteração do estado das grelhas na boca de extração de uma instalação sanitária de fechado para aberto levou a uma redução de cerca de 600 ppm no compartimento contíguo, no período noturno de ocupação;

- Os perfis tipo dos ocupantes têm uma base que corresponde aos períodos sem ocupação, existindo depois divergências a esse perfil base provocadas pelas atividades do quotidiano dos ocupantes. No presente caso, conseguiu-se construir perfis tipo representativos da estação em que se inserem com apenas 7 dias de dados;
- Considera-se o estudo dos impactos dos ocupantes de uma habitação essencial para fornecer informações ao sistema de domótica dessa mesma fração. A criação de perfis tipo dos ocupantes permitirá a um sistema de domótica distinguir os diferentes dias existentes em função das especificidades de cada habitação (dias da semana versus fim de semana e feriados, dias de ocupação versus dias sem ocupação, etc...). Este conhecimento permitirá a uma casa inteligente tomar medidas de otimização de recursos em função das necessidades dos ocupantes. Será também possível ao sistema aperceber-se da ocorrência de ações dos ocupantes e inferir os seus impactos de modo a preparar-se para compensar os seus efeitos quando negativos ou potenciá-los quando positivos;
- A heterogeneidade dos impactos, principalmente encontrada para a mesma ação em função do compartimento, sustenta a tese de que um sistema de domótica não pode funcionar com um perfil tipo extraído de uma grande base de dados. Existe um perfil tipo por habitação que nem sequer é válido para todo o ano, que deverá ser construído e continuamente modificado através de um sistema de monitorização instalado na habitação em questão. Acresce ainda o facto de existirem diferenças entre compartimentos, o que indica a necessidade de se tornar o sistema de monitorização de cada fração abrangente, envolvendo todos os compartimentos cuja ação se considera relevante para o balanço energético e higrotérmico.

No capítulo 5 conseguiu-se identificar as motivações que levaram os ocupantes a executar determinadas ações no interior da habitação. Conseguiu-se hierarquizar as referidas motivações e ainda prever a ocorrência das ações em função das diferentes motivações. A partir dos resultados obtidos foi possível concluir o seguinte:

- As motivações que estão da génese das ações executadas pelos ocupantes podem ser associadas a estas através dos coeficientes de correlação, principalmente o coeficiente de Spearman, e através do uso de regressões logísticas. As duas metodologias permitem correlacionar séries de variáveis contínuas com séries de variáveis categóricas;
- A comparação dos valores dos coeficientes de Spearman e dos  $\beta$  (declives) da regressão logística, entre si, permite a hierarquização das motivações;
- Mesmo que só se use as regressões logísticas como forma de correlacionar as ações com as motivações, é necessário proceder à eliminação das variáveis que apresentem colinearidade entre si. Para se determinar a colinearidade entre diferentes parâmetros podem também ser usados os coeficientes de Spearman;
- Existem motivações diferentes para ações sobre o mesmo tipo de mecanismos. Foi também observada uma alteração das motivações dos ocupantes ao longo do ano. Deste modo, provou-se a aplicabilidade da metodologia a diferentes circunstâncias. Foi constatado que os ocupantes têm como motivações para efetuarem determinadas ações os parâmetros ambientais interiores e exteriores, mas também outros parâmetros relacionados com questões temporais, sequência de eventos ou hábitos comportamentais;
- As regressões logísticas permitiram obter métodos para a previsão da ocorrência de uma ação por parte dos ocupantes. Uma vez que existe sempre uma motivação para a ocorrência das ações cuja variável é categórica binária, a probabilidade da ocorrência das ações, considerando os dados monitorizados e obtidos nos registos diários dos ocupantes, fica dividida em diferentes grupos. Foi possível identificar quais os grupos com maiores probabilidades de ocorrência da ação e quais as variáveis categóricas associadas a cada grupo;

- A heterogeneidade de motivações principalmente encontrada para a mesma ação em função do compartimento e estação do ano sustenta a tese de que um sistema de domótica não pode funcionar com um perfil tipo extraído de uma grande base de dados. Existe um perfil tipo por habitação que nem sequer é válido para todo o ano, que deverá ser construído e continuamente modificado através de um sistema de monitorização instalado na habitação em questão. Acresce ainda o facto de existirem diferenças entre compartimentos, o que indica a necessidade de se tornar o sistema de monitorização de cada fração abrangente, envolvendo todos os compartimentos cuja ação se considera relevante para o balanço energético e higrotérmico;
- Um sistema de domótica que consiga prever as ações dos ocupantes por perceber as suas motivações é de especial interesse por permitir otimizar o balanço entre a eficiência energética, conforto térmico e qualidade do ar interior em função dos requisitos específicos dos ocupantes da habitação em questão. Só desta forma se consegue incluir a verdadeira inteligência nos edifícios residenciais;
- A heterogeneidade de motivações, principalmente encontrada para a mesma ação em função do compartimento e estação do ano, sustenta a tese de que um sistema de domótica não pode funcionar com um perfil tipo extraído de uma grande base de dados. Existe um perfil tipo por habitação que nem sequer é válido para todo o ano, que deverá ser construído e continuamente modificado através de um sistema de monitorização instalado na habitação em questão. Acresce ainda o facto de existirem diferenças entre compartimentos, o que indica a necessidade de se tornar o sistema de monitorização de cada fração abrangente, envolvendo todos os compartimentos cuja ação se considera relevante para o balanço energético e higrotérmico.

No capítulo 6.2 a ferramenta estatística CPA foi utilizada com sucesso como forma de detetar a ocorrência de ações dos ocupantes. Para tal, foi definida uma nova metodologia para adaptar o uso desta ferramenta à área de estudos do comportamento dos ocupantes, mais especificamente à deteção de ações de ocupantes em ambiente residencial. A aplicação desta metodologia permitiu concluir o seguinte:

- Os registos de temperatura, humidade relativa e concentração de CO<sub>2</sub> fornecem séries temporais onde podem ser detetadas mudanças abruptas de distribuição causadas por ações dos ocupantes;
- A ferramenta estatística em programação R “changepoint” do “R Package” fornece os meios para uma deteção automática de mudanças abruptas em séries temporais de parâmetros do ambiente interior. Contudo, a sua aplicação requer uma metodologia que possa estabelecer a configuração das variáveis disponíveis no “R Package” que conduz à melhor deteção, em cada ação;
- A aplicabilidade da metodologia proposta foi demonstrada para a deteção de ações da vida quotidiana dos ocupantes (ADL) ao nível da abertura de janelas, ato de tomar banho, cozinhar e aquecer;
- Uma das maiores vantagens desta metodologia é a sua versatilidade de uso em diferentes espaços por possuir um mecanismo de seleção dos melhores parâmetros a serem utilizados no trabalho de deteção, com base num sistema de autoavaliação através de dois índices propostos;
- Os parâmetros considerados ideais (pela metodologia) para a deteção de cada ação dependem da ação em si e das características do compartimento. Assim, a metodologia apontou a concentração de CO<sub>2</sub> como o mais indicado para detetar a ação de abertura da janela num quarto, enquanto que para a mesma ação, numa instalação sanitária, a diferença da pressão parcial de vapor de água entre o interior e o exterior ( $\Delta P$ ) foi considerado como o parâmetro mais eficiente. No entanto, o parâmetro  $\Delta P$  também revelou bons resultados na deteção de

abertura da janela no quarto. À luz do exposto, pode-se concluir que o sensor de CO<sub>2</sub> pode ser frequentemente dispensado. Embora seja útil para detetar ações onde os períodos de ocupação são altos, o CPA pode ser realizado apenas através de sensores de temperatura e humidade relativa de baixo custo;

- No caso da ação de “tomar banho”, o parâmetro escolhido como o melhor para detetar a ação dos ocupantes foi a pressão de vapor de água, para a ação de “cozinhar” foi a temperatura e para a ação de “aquecer” o parâmetro escolhido foi outra vez a temperatura. Noutros casos de estudo a metodologia pode seleccionar outros parâmetros;
- O desenvolvimento de um critério de refinamento indisponível no “R Package” foi essencial para a redução do número de ações "falsos positivos" que estavam a ser detetadas pelo software;
- Foi possível observar que a maioria das ações não detetadas por esta metodologia se deveu ao não cumprimento do critério de precisão definido para se considerar uma ação como corretamente detetada ( $\pm 4$  intervalos de medição face ao instante real da ocorrência da ação). Foram encontrados outros fatores para o insucesso na deteção das ações como o facto de algumas ações provocarem mudanças menos abruptas nas séries temporais monitorizadas, a existência de imprecisões nos registos dos ocupantes e erros pontuais nos sensores de monitorização;
- A comparação dos resultados obtidos através desta metodologia com os registos dos ocupantes e sistemas de monitorização específicos para detetar ações, permitiu obter uma percentagem de sucesso de 97% na deteção da abertura da janela, 97% no banho, 100% no aquecimento e 85% no ato de cozinhar;
- Considera-se esta metodologia uma maneira eficiente de substituir parcialmente ou complementar os registos dos ocupantes acerca das ações dos ocupantes, tornando-os mais sólidos e precisos. A comparação automática entre os valores dos registos dos ocupantes e os resultados do “R Package” é de fácil implementação, podendo oferecer um importante contributo para uma deteção mais bem-sucedida das ações dos ocupantes. Como referido, os inquéritos longos tendem a aportar erros não desprezáveis pelo que o apoio por uma metodologia quantitativa poderá ajudar a validar ou a corrigir as informações provenientes dos inquéritos.

No capítulo 6.3 foi criada uma metodologia para detetar as ações dos ocupantes tendo por base sensores de temperatura, humidade relativa e/ou de concentração de CO<sub>2</sub>. Esta metodologia foi criada de forma completamente original, surgindo como alternativa à anteriormente apresentada como forma de melhorar a precisão da deteção das ações. Esta metodologia baseia-se no princípio da deteção dos extremos das séries temporais constituídas pelo cálculo das variações dos parâmetros monitorizados em intervalos de medição sucessivos. A aplicação desta metodologia num conjunto de dados alargado permitiu concluir o seguinte:

- Através dos dados de temperatura, humidade relativa e concentração de CO<sub>2</sub> monitorizados e dos dados de pressão de vapor de água, diferença de temperatura entre o interior e o exterior e diferença de pressão de vapor entre o interior e o exterior calculados, foi possível obter séries temporais através das variações entre os valores de intervalos sucessivos;
- Foi criada uma metodologia original que permite, através das séries temporais descritas, a deteção de ações dos ocupantes ao nível da abertura de janelas, ato de tomar banho, cozinhar e aquecer;

- O método baseia-se no princípio de que um bom parâmetro para ser usado como condição da restrição a efetuar à série temporal é aquele que se apresenta como extremo da série temporal. Deste modo, as ações a detetar têm que provocar variações elevadas nos parâmetros monitorizados para que possam ser detetadas pela metodologia proposta;
- A metodologia criada permite, de um modo completamente automatizado, criar uma série de condições às séries de dados de modo a detetar a localização exata da ocorrência das ações que se pretende estudar;
- A metodologia proposta conseguiu detetar ações com uma boa percentagem de sucesso considerando-se a precisão de  $\pm 1$  intervalo de medição ( $\pm 10$  min) face ao instante no qual se sabe que ocorreu a ação;
- Diferentes ações provocam variações semelhantes nos parâmetros monitorizados, devendo, sempre que possível, optar-se por um algoritmo multicritério para detetar ações de modo a reduzir o número de falsos positivos;
- Os parâmetros considerados nas restrições impostas à série temporal, de modo a separar os instantes onde ocorreram as ações dos outros instantes, dependem da ação em si e das características do compartimento. Deste modo, a metodologia apontou como possíveis indicadores para a deteção da ação de abertura das janelas num quarto os parâmetros de pressão parcial de vapor de água e excesso de pressão, enquanto que para a abertura da janela numa instalação sanitária, qualquer um destes parâmetros teria boa prestação: temperatura, diferença de temperatura entre o interior e o exterior; pressão de vapor de água e excesso de pressão;
- A posição dos sensores é preponderante para a deteção das ações, devendo estar o mais próxima possível do local da ocorrência da ação;
- A comparação dos resultados obtidos através desta metodologia com os registos dos ocupantes e sistemas de monitorização específicos para detetar ações, permitiu obter-se uma percentagem de sucesso na deteção das ações de 100% na deteção da abertura da janela do quarto R1 e da instalação sanitária W1, 100% para a ação de tomar banho, 96% no ato de cozinhar e 92% no ato de aquecer;
- Foi possível observar que, a maioria das ações não detetadas por esta metodologia se deveu ao não cumprimento do critério de precisão definido para se considerar uma ação como corretamente detetada ( $\pm 1$  intervalos de medição face ao instante real da ocorrência da ação). Foram encontrados outros fatores para o insucesso na deteção das ações como o facto de algumas ações terem um impacto atípico nas séries temporais monitorizadas e a existência de imprecisões nos registos dos ocupantes;
- A metodologia proposta mostrou ser uma ferramenta útil na deteção de ações a partir de um intervalo de dados de treino reduzido, no qual as ações se conhecem.

## 7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O presente trabalho não esgotou as possibilidades de investigação na área do comportamento dos ocupantes dos edifícios. Para além disso, esta é uma área que tem merecido a atenção de cada vez mais investigadores, existindo um crescimento progressivo do número de publicações na área. Deste modo, considera-se oportuno o aprofundar de algumas temáticas específicas que foram identificadas no decurso do presente trabalho:

- Apesar de serem bem conhecidos os hábitos energéticos dos portugueses (INE e DGEG 2011) para o setor dos edifícios, as especificidades do comportamento dos ocupantes dos edifícios não foram ainda alvo de estudos significativos nos países do sul da Europa. Assim, considera-

se houver espaço para um estudo com grande representação estatística de modo a serem fornecidos dados concretos, necessários para a criação de perfis de ocupantes em função de várias características socioeconômicas de modo a poderem ser utilizados em programas de simulação numérica na fase de concepção dos edifícios;

- Por outro lado, seria também importante a construção de um modelo numérico de modo a comparar os resultados da simulação tendo por base uma abordagem determinística (valores pré-carregados nos programas de simulação) ou probabilística (perfis dos ocupantes obtidos) em função dos valores reais, monitorizados;
- Considera-se pertinente a aplicação prática das metodologias criadas neste trabalho através da criação de um algoritmo para otimizar o funcionamento de um sistema de domótica que permita sugerir ações aos ocupantes de modo a melhorar o conforto térmico e qualidade do ar interior com a menor quantidade de energia possível;
- Ao nível da monitorização, os protótipos criados neste trabalho são apenas o princípio de um trabalho mais abrangente para se conseguir criar um sistema de monitorização que agregue diversos sensores adaptados às exigências e restrições dos estudos *in situ* em edifícios em fase de utilização.

# BIBLIOGRAFIA

- 2002/91/CE, Diretiva. 2002. *Diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios*.
- 2010/31/EU, Directive. 2010. *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*.
- 2018/844/EU, Directive. 2018. Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency (Text with EEA relevance).
- Aerts, D., J. Minnen, I. Glorieux, I. Wouters e F. Descamps. 2013. "Discrete occupancy profiles from time-use data for user behaviour modelling in homes". Comunicação apresentada em Proceedings of BS 2013: 13th Conference of the International Building Performance Simulation Association.
- Afonso, Maria João Rosado de Sousa. 2007. "Paradigmas Diferencial e Sistémico de Investigação da Inteligência Humana. Perspectivas sobre o lugar e o sentido do construto", Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação, Universidade de Lisboa.
- Ahmed, H. S., B. M. Faouzi e J. Caelen. 2013. "Detection and classification of the behavior of people in an intelligent building by camera". *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems* no. 6 (4):1317-1342.
- Alders, E. E. 2017. "Adaptive heating, ventilation and solar shading for dwellings". *Architectural Science Review* no. 60 (3):150-166. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85017288064&doi=10.1080%2f00038628.2017.1300132&partnerID=40&md5=072e013f9db16d450f941139fd8c3297>.
- Ali, Akram Syed, Zachary Zanzinger, Deion Debose e Brent Stephens. 2016. "Open Source Building Science Sensors (OSBSS): A low-cost Arduino-based platform for long-term indoor environmental data collection". *Building and Environment* no. 100:114-126. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132316300476>.
- Almeida, R. M. S. F. e V. P. de Freitas. 2014. "Indoor environmental quality of classrooms in Southern European climate". *Energy and Buildings* no. 81:127-140. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84903829184&partnerID=40&md5=97ffc52bfd20f03a3548ce1d021a9a30>.
- Ambiente, Agência Portuguesa do Ambiente - Laboratório Referência do. 2009. *Qualidade do Ar em Espaços Interiores*.
- Andersen, R. K. . 2012. "The influence of occupants' behaviour on energy consumption investigated in 290 identical dwellings and in 35 apartments". Comunicação apresentada em 10th International Conference on Healthy Buildings, em Brisbane, Australia.
- Andersen, R. V., J. Toftum, K. K. Andersen e B. W. Olesen. 2009. "Survey of occupant behaviour and control of indoor environment in Danish dwellings". *Energy and Buildings* no. 41 (1):11-16. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-55549145744&partnerID=40&md5=12083e0c10b1413ca8e2084af4a54e26>.
- Antretter, Florian, Christine Mayer e Prof. Dr. rer. nat. Ulrich Wellisch. 2011. "An approach for a statistical model for the user behaviour regarding window ventilation in residential buildings". Comunicação apresentada em 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, em Sydney.

- Arundel, A. V., E. M. Sterling, J. H. Biggin e J. H. Sterling. 1986. "Indirect health effects of relative humidity in indoor environments". *Health Perspect* no. 65:351-361.
- ASHRAE-55. 2010. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ANSI.
- ASHRAE-62.1. 2007. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*.
- ASHRAE-62.2-FAQs. <http://waptac.org/Additional-Pages/FAQ-ASHRAE-62002E2.aspx>.
- ASHRAE-62.2. 2016. *Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings*.
- ASHRAE-Fundamentals. 2009. *ASHRAE Handbook - Fundamentals*.
- ASTM-D6245. 2012. *Using Indoor Carbon Dioxide Concentrations to Evaluate Indoor Air Quality and Ventilation*.
- ASTM-E741. 2011. *Standard test method for determining air change in a single zone by means of a tracer gas dilution*.
- Auliciems, Andris e Steven Szokolay V. 1997. "Thermal Comfort". Em, editado por Passive and Low Energy Architecture International.
- Bai, J. e P. Perron. 1998. "Estimating and testing linear models with multiple structural changes". *Econometrica* no. 66 (1):47-78. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0346906789&partnerID=40&md5=4a8b3cae6603369278bd2d5af00acb14>.
- Baker, N. e M. Standeven. 1996. "Thermal comfort for free-running buildings". *Energy and Buildings* no. 23 (3):175-182. <http://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0030102486&partnerID=40&md5=099335abd67375a0b760405dc88b6bdc>.
- Bao, K., F. Allerding e H. Schmeck. 2011. "User behavior prediction for energy management in smart homes". Comunicação apresentada em Proceedings - 2011 8th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, FSKD 2011.
- Barbato, A., L. Borsani, A. Capone e S. Melzi. 2009. "Home energy saving through a user profiling system based on wireless sensors". Comunicação apresentada em 1st ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings, BUILDSYS 2009, in Conjunction with ACM SenSys 2009, em Berkeley, CA.
- Barreira, E., M. L. Simões, J. M. P. Q. Delgado e I. Sousa. 2017. "Procedures in the construction of a test reference year for Porto-Portugal and implications for hygrothermal simulation". *Sustainable Cities and Society* no. 32:397-410. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85018965112&doi=10.1016%2fj.scs.2017.04.013&partnerID=40&md5=25a964273de269eea82c128f269def66>.
- Beaulieu, C., J. Chen e J. L. Sarmiento. 2012. "Change-point analysis as a tool to detect abrupt climate variations". *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* no. 370 (1962):1228-1249. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84863116010&doi=10.1098%2frsta.2011.0383&partnerID=40&md5=dfc8beb038731c7760ee704dba6176e4>.
- Bekö, G., T. Lund, F. Nors, J. Toftum e G. Clausen. 2010. "Ventilation rates in the bedrooms of 500 Danish children". *Building and Environment* no. 45 (10):2289-2295. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77953541402&partnerID=40&md5=bc95f8d1bf33da920c2a086b0631ced5>.
- Bienfait, Dominique, Klaus Fitzne, Thomas Lindvall, Olli Seppanen, Michael Woolliscroft, P. Ole Fanger, Malti Jantunen, Eimund Skaret e Joseph Schwer. 1992. *Guidelines for ventilation requirements in buildings*. Brussels: CEC.
- Bonte, M., F. Thellier e B. Lartigue. 2014. "Impact of occupant's actions on energy building performance and thermal sensation". *Energy and Buildings* no. 76:219-227. <http://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84897426997&partnerID=40&md5=f62d5a6d1a44ad506a758736bc036d69>.
- Bourgeois, D., C. Reinhart e I. Macdonald. 2006. "Adding advanced behavioural models in whole building energy simulation: A study on the total energy impact of manual and automated lighting control". *Energy and Buildings* no. 38 (7):814-823.



- <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33646349491&partnerID=40&md5=e8a4456671a31a45ca73ba837e127e74>.
- Brager, G. S. e R. J. De Dear. 1998. "Thermal adaptation in the built environment: A literature review". *Energy and Buildings* no. 27 (1):83-96. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0031999635&partnerID=40&md5=73d36e51961173f516d325da2a5f0b76>.
- Brassier, Pascale, Germain Adell e Nicolas Salmon. 2014. "Energy consumption feedback to users: lessons learnt from pilot cases in social housing and tertiary buildings". Comunicação apresentada em BEHAVE2014 – Behavior and Energy Efficiency Conference.
- BS-5925. 1991. *Code of practice for ventilation principles and designing for natural ventilation*. London: BSI.
- BS-8206-2. 2008. "Lighting for buildings - Code of practice for daylighting".
- Calì, D., R. K. Andersen, D. Müller e B. W. Olesen. 2016. "Analysis of occupants' behavior related to the use of windows in German households". *Building and Environment* no. 103:54-69. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84962835183&doi=10.1016%2fj.buildenv.2016.03.024&partnerID=40&md5=ec72bdf520d8b049a6427e9a7ec813f0>.
- Calì, D., T. Osterhage, R. Streblow e D. Müller. 2016. "Energy performance gap in refurbished German dwellings: Lesson learned from a field test". *Energy and Buildings* no. 127:1146-1158. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84978245108&doi=10.1016%2fj.enbuild.2016.05.020&partnerID=40&md5=2d446a9ec96162a540538730e3fc9265>.
- Candanedo, L. M., V. Feldheim e D. Deramaix. 2017. "A methodology based on Hidden Markov Models for occupancy detection and a case study in a low energy residential building". *Energy and Buildings* no. 148:327-341. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85019956608&doi=10.1016%2fj.enbuild.2017.05.031&partnerID=40&md5=98c3567d43ae0ed698febb0a46762efb>.
- Chao, C. Y., M. P. Wan e A. K. Law. 2004. "Ventilation performance measurement using constant concentration dosing strategy". *Building and Environment* no. 39 (11):1277-1288. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-3042600545&partnerID=40&md5=fe2f902fba7ba23410d741d16c854779>.
- Chen, C., D. J. Cook e A. S. Crandall. 2013. "The user side of sustainability: Modeling behavior and energy usage in the home". *Pervasive and Mobile Computing* no. 9 (1):161-175. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84873124513&partnerID=40&md5=3bbea8f3b8c922f2d941f4ae936d56dd>.
- Chen, J. e A. K. Gupta. 2014. *Parametric statistical change point analysis: With applications to genetics, medicine, and finance*.
- Cheng, Vicky e Koen Steemers. 2011. "Modelling domestic energy consumption at district scale: A tool to support national and local energy policies". *Environmental Modelling & Software* no. 26 (10):1186-1198. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815211001034>.
- Cho, Wanghee, Doosam Song, Seokho Hwang e Sungmin Yun. 2015. "Energy-efficient ventilation with air-cleaning mode and demand control in a multi-residential building". *Energy and Buildings* no. 90:6-14. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815000055>.
- CIBSE. 2013. *Lighting Guide 9: Lighting for Communal Residential Buildings*.
- Clear, R. D., V. Inkarojrit e E. S. Lee. 2006. "Subject responses to electrochromic windows". *Energy and Buildings* no. 38 (7):758-779. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-33646533950&partnerID=40&md5=fb24026dab83f614e1f456db2178312b>.
- Clements-Croome, Derek 2004. *Intelligent Buildings - Design, Management and Operation*. Thomas Telford.
- Coley, David A. e Alexander Beisteiner. 2002. "Carbon dioxide levels and ventilation rates in schools". *International Journal of Ventilation* no. 1 (1):45-52.
- Costa, M., A. Manuela Gonçalves e L. Teixeira. 2016. "Change-point detection in environmental time series based on the informational approach". *Electronic Journal of Applied Statistical Analysis* no. 9 (2):267-296. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

- [85002796870&doi=10.1285%2fi20705948v9n2p267&partnerID=40&md5=e09d77075fb20b28a2371df27726577d](https://doi.org/10.1285%2fi20705948v9n2p267&partnerID=40&md5=e09d77075fb20b28a2371df27726577d).
- Cui, Shuqing, Michaël Cohen, Pascal Stabat e Dominique Marchio. 2015. "CO2 tracer gas concentration decay method for measuring air change rate". *Building and Environment* no. 84:162-169. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314003606>.
- D'Oca, S., C. F. Chen, T. Hong e Z. Belafi. 2017. "Synthesizing building physics with social psychology: An interdisciplinary framework for context and occupant behavior in office buildings". *Energy Research and Social Science* no. 34:240-251. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85028714403&doi=10.1016%2fj.erss.2017.08.002&partnerID=40&md5=8d328df7fd94a78d74c697b8938cabe4>.
- D'Oca, S., S. P. Corgnati e T. Buso. 2014. "Smart meters and energy savings in Italy: Determining the effectiveness of persuasive communication in dwellings". *Energy Research and Social Science* no. 3 (C):131-142. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84924024473&doi=10.1016%2fj.erss.2014.07.015&partnerID=40&md5=3a869ef9a15edeac1e56c528470e4ecd>.
- D'Oca, S., V. Fabi, S. P. Corgnati e R. K. Andersen. 2014. "Effect of thermostat and window opening occupant behavior models on energy use in homes". *Building Simulation* no. 7 (6):683-694. <http://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84906315309&partnerID=40&md5=3bfa70c0f24b3cfa9d27df2036e2b215>.
- D'Oca, S. e T. Hong. 2015. "Occupancy schedules learning process through a data mining framework". *Energy and Buildings* no. 88:395-408. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84920268971&doi=10.1016%2fj.enbuild.2014.11.065&partnerID=40&md5=fad95ec2d0e44a338d97da08e3ff309a>.
- D'Oca, S., T. Hong e J. Langevin. 2018. "The human dimensions of energy use in buildings: A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* no. 81:731-742. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85027558816&doi=10.1016%2fj.rser.2017.08.019&partnerID=40&md5=d10b6408f890100165480c42b1d31238>.
- De Dear, Richard, Gail Brager e Donna Cooper. 1997. ASHRAE RP-884 - Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference.
- de Freitas, Vasco Peixoto e Paulo Silva Pinto. 1998. *Nota de Informação Técnica 2 - Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção - Condensações Internas*.
- de Meester, Tatiana, Anne-Françoise Marique, André De Herde e Sigrid Reiter. 2013. "Impacts of occupant behaviours on residential heating consumption for detached houses in a temperate climate in the northern part of Europe". *Energy and Buildings* no. 57 (Supplement C):313-323. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812005944>.
- Decreto-Lei n.º 118/2013, Diário da República, 1.ª série - N.º 159. 2013. *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)*.
- Delzendeh, E., S. Wu, A. Lee e Y. Zhou. 2017. "The impact of occupants' behaviours on building energy analysis: A research review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* no. 80:1061-1071. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85019968192&doi=10.1016%2fj.rser.2017.05.264&partnerID=40&md5=3e43566b591891a66d8aa563d5c3e98f>.
- Dias Carrilho, J., M. Mateus, S. Batterman e M. Gameiro Da Silva. 2015. "Air exchange rates from atmospheric CO2 daily cycle". *Energy and Buildings* no. 92:188-194. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84923073585&partnerID=40&md5=18ee79a730099a055c10a7867a8e359a>.
- DIN-1946-6. 2013. *Ventilation and air conditioning - part 6: Ventilation for Residential Buildings*.
- Dong, B., K. P. Lam e C. P. Neuman. 2011. "Integrated building control based on occupant behavior pattern detection and local weather forecasting". Comunicação apresentada em Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association.

- Dorizas, Paraskevi Vivian, Margarita-Niki Assimakopoulos, Constantinos Helmis e Mattheos Santamouris. 2015. "An integrated evaluation study of the ventilation rate, the exposure and the indoor air quality in naturally ventilated classrooms in the Mediterranean region during spring". *Science of The Total Environment* no. 502:557-570. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969714013825>.
- Du Bois, D. e E. F. Du Bois. 1916. "A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known". *Archives of Internal Medicine*:863-871.
- EN-13829. 2001. *Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method*
- EN-15251. 2007. *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*.
- EN/ISO-9920. 2007. *Ergonomics of the thermal environment -- Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*.
- Eriksen, Kurt Emil, Per Heiselberg, Carsten Rode, Jost Hartwig, Peter Foldbjerg, Karsten Duer e Werner Osterhaus. 2013. *Active House - Specification for residential buildings*.
- Fabi, V., R. V. Andersen, S. Corgnati e B. W. Olesen. 2012. "Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models". *Building and Environment* no. 58:188-198. <Go to ISI>://WOS:000309332800018.
- Fabi, V., R. V. Andersen, S. P. Corgnati e B. W. Olesen. 2013. "A methodology for modelling energy-related human behaviour: Application to window opening behaviour in residential buildings". *Building Simulation* no. 6 (4):415-427. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84881604918&doi=10.1007%2fs12273-013-0119-6&partnerID=40&md5=2a460e6c66973f955ac5b954694ef7bb>.
- Fabi, Valentina, Martina Sugliano, Rune Korsholm Andersen e Stefano Paolo Corgnati. 2015. "Validation of Occupants' Behaviour Models for Indoor Quality Parameter and Energy Consumption Prediction". *Procedia Engineering* no. 121 (Supplement C):1805-1811. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815029884>.
- Fanger, P. O. 1970. *Thermal Comfort - Analysis and Applications in Environmental Engineering*.
- Fawcett, Tom. 2006. "An introduction to ROC analysis". *Pattern Recognition Letters* no. 27 (8):861-874. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016786550500303X>.
- Fayyad, Usama, Gregory Piatetsky-Shapiro e Padhraic Smyth. 1996. "From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases".
- Foldbjerg, Peter, Christoffer Rasmussen e Thorbjørn Asmussen. 2011. "Thermal Comfort in two European Active Houses: Analysis of the Effects of Solar Shading and Ventilative Cooling".
- Fortmann, C. R., N. L. Nagda e H. E. Rector. 1990. "Comparison of methods for the measurement of air change rates and interzonal airflows in two test residences". Em *Air Change Rate and Airtightness in Buildings*, editado por M. H. Sherman, 104-118. Philadelphia: ASTM.
- Freitas, Vasco Peixoto de. 2010. "Ventilação de edificios de habitação: sistemas mistos". Em *Ventilação e qualidade do ar interior*, editado por João Viegas. Lisboa: LNEC.
- Frontczak, M., R. V. Andersen e P. Wargocki. 2012. "Questionnaire survey on factors influencing comfort with indoor environmental quality in Danish housing". *Building and Environment* no. 50:56-64.
- Gagge, A. P., A. P. Fobelets e L. G. Berglund. 1986. "A standard predictive index of human response to the thermal environment".
- Gao, G. e K. Whitehouse. 2009. "The self-programming thermostat: Optimizing setback schedules based on home occupancy patterns". Comunicação apresentada em 1st ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings, BUILDSYS 2009, in Conjunction with ACM SenSys 2009, em Berkeley, CA.
- Garrido-Soriano, N., M. Rosas-Casals, A. Ivancic e M. D. Alvarez-Del Castillo. 2012. "Potential energy savings and economic impact of residential buildings under national and regional efficiency scenarios. A Catalan case study". *Energy and Buildings* no. 49:119-125.

- <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84861832911&partnerID=40&md5=973148e727ada66fff245746dbf5fbf7>.
- Gill, Z. M., M. J. Tierney, I. M. Pegg e N. Allan. 2010. "Low-energy dwellings: The contribution of behaviours to actual performance". *Building Research and Information* no. 38 (5):491-508. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77956217823&partnerID=40&md5=98d327685ffb37dbe948e8ae84bf21e7>.
- Gomes, M. G., A. J. Santos e A. M. Rodrigues. 2014. "Solar and visible optical properties of glazing systems with venetian blinds: Numerical, experimental and blind control study". *Building and Environment* no. 71:47-59. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84885739342&partnerID=40&md5=43c2dc457194bfe15794f42bcb78f99e>.
- Gram-Hanssen, K. 2010. "Residential heat comfort practices: Understanding users". *Building Research and Information* no. 38 (2):175-186. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77649289979&partnerID=40&md5=fa2f02c5f3e4483a219d4245718b66c8>.
- Gratia, E. e A. De Herde. 2004. "Optimal operation of a south double-skin facade". *Energy and Buildings* no. 36 (1):41-60. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0242335863&partnerID=40&md5=8f955d520008cf57a604788a9071e943>.
- Guerra-Santin, O., N. Romero Herrera, E. Cuerda e D. Keyson. 2016. "Mixed methods approach to determine occupants' behaviour – Analysis of two case studies". *Energy and Buildings* no. 130:546-566. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84985011810&doi=10.1016%2fj.enbuild.2016.08.084&partnerID=40&md5=97151bbbe1da227d86fdcfbc8813cf3c>.
- Guerra Santin, O. 2011. "Behavioural patterns and user profiles related to energy consumption for heating". *Energy and Buildings* no. 43 (10):2662-2672. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-80054806317&partnerID=40&md5=ed716e58768c7d5d8fdae7a578f00fd9>.
- Guerra Santin, O. e L. Itard. 2010. "Occupants' behaviour: Determinants and effects on residential heating consumption". *Building Research and Information* no. 38 (3):318-338. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77951591082&partnerID=40&md5=713f31486d565cb77a0a03f3feb00bd8>.
- Guerra Santin, O., L. Itard e H. Visscher. 2009. "The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock". *Energy and Buildings* no. 41 (11):1223-1232. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-69249216516&partnerID=40&md5=b316031a3378c0ded482e6f861f6c07b>.
- Gunay, H. Burak, William O'Brien e Ian Beausoleil-Morrison. 2013. "A critical review of observation studies, modeling, and simulation of adaptive occupant behaviors in offices". *Building and Environment* no. 70 (Supplement C):31-47. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132313002187>.
- Guo L e Lewis O. 2007. "Carbon dioxide concentration and its application on estimating the air change rate in typical Irish houses". *International Journal of Ventilation* no. 6 (3):235-245.
- Guralnik, Valery e Jaideep Srivastava. 1999. "Event Detection from Time Series Data". Comunicação apresentada em 5th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining.
- Han, Jiawei e Micheline Kamber. 2006. *Data Mining: Concepts and Techniques*. Editado por Microsoft Research Jim Gray. The Morgan Kaufmann.
- Hand, David, Heikki Mannila e Padhraic Smyth. 2001. *Principles of Data Mining*. Cambridge, Massachusetts London England: Massachusetts Institute of Technology.
- Hastie, Trevor e Robert Tibshirani. 1986. "Generalized Additive Models". *Statistical Science* no. 1 (3):297-318.
- Hawarah, L., S. Ploix e M. Jacomino. 2010. User behavior prediction in energy consumption in housing using Bayesian networks. Em *10th International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing, ICAISC 2010*. Zakopane. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77955406185&partnerID=40&md5=1b3aa40acc49bf327e92ff12732e232b>.
- Hendron, Robert e Cheryn Engebrecht. 2010. *Building America Research Benchmark Definition*



- Hens, Hugo. 2011. "Dwelling air-tightness in a 55 years old estate". *9th Nordic Symposium on Building Physics - NSB 2011* no. 1 of 3:47 to 54.
- Herkel, Sebastian, Ulla Knapp e Jens Pfafferott. 2008. "Towards a model of user behaviour regarding the manual control of windows in office buildings". *Building and Environment* no. 43 (4):588-600. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013230600326X>.
- Hinkle, D. E., W. Wiersma e S.G. Jurs. 2003. *Applied Statistics for the Behavioral Sciences*. Editado por Houghton Mifflin. 5th ed., Malawai Medical Journal. Boston.
- Hnat, T. W., V. Srinivasan, J. Lu, T. I. Sookoor, R. Dawson, J. Stankovic e K. Whitehouse. 2011. "The hitchhiker's guide to successful residential sensing deployments". Comunicação apresentada em 9th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, SenSys 2011, em Seattle, WA.
- Hollander, Myles, Douglas A. Wolfe e Eric Chicken. 2013. *Nonparametric Statistical Methods*.
- Hong, T., S. D'Oca, W. J. N. Turner e S. C. Taylor-Lange. 2015. "An ontology to represent energy-related occupant behavior in buildings. Part I: Introduction to the DNAs framework". *Building and Environment* no. 92:764-777. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84929489501&doi=10.1016%2fj.buildenv.2015.02.019&partnerID=40&md5=392f5ec7c1125675d279d62ea3d18e69>.
- Hong, T., D. Yan, S. D'Oca e C. F. Chen. 2017. "Ten questions concerning occupant behavior in buildings: The big picture". *Building and Environment* no. 114:518-530. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85009508216&doi=10.1016%2fj.buildenv.2016.12.006&partnerID=40&md5=e0d0a24fe1c51b759b4fb520f6405262>.
- Howard-Reed, C., L. A. Wallace e W. R. Ott. 2002. "The effect of opening windows on air change rates in two homes". *Journal of the Air and Waste Management Association* no. 52 (2):147-159. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0036164398&partnerID=40&md5=e957783389be5c94c1667f62a2db8840>.
- Huang, K. L., G. H. Feng, H. X. Li e S. Yu. 2014. "Opening window issue of residential buildings in winter in north China: A case study in Shenyang". *Energy and Buildings* no. 84:567-574. <Go to ISI>://WOS:000345182000056.
- IBG. 2014. "Intelligent Building Group". Acedido a 15 maio. <http://www.ibgroup.org.uk/>.
- INE, Instituto Nacional de Estatística e Direção Geral de Energia e Geologia DGEG. 2011. *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010*.
- ISO-7726. 1998. *Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities*.
- ISO-7730. 2005. *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*.
- ISO-8996. 2004. *Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate*.
- ISO-9972. 2006. "Thermal performance of buildings — Determination of air permeability of buildings — Fan pressurization method".
- Iwashita, G. e H. Akasaka. 1997. "The effects of human behavior on natural ventilation rate and indoor air environment in summer - A field study in southern Japan". *Energy and Buildings* no. 25 (3):195-205. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0031142616&partnerID=40&md5=b7f3e5e4921343f8be2eae346bb6d1a4>.
- Jain, R. K., R. Gulbinas, J. E. Taylor e P. J. Culligan. 2013. "Can social influence drive energy savings? Detecting the impact of social influence on the energy consumption behavior of networked users exposed to normative eco-feedback". *Energy and Buildings* no. 66:119-127. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84882327709&partnerID=40&md5=efeeb6f210f9b50956f431a9d50eb45d>.
- Jang, Hyunju e Jian Kang. 2016. "A stochastic model of integrating occupant behaviour into energy simulation with respect to actual energy consumption in high-rise apartment buildings". *Energy and Buildings* no. 121 (Supplement C):205-216. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877881630192X>.

- Jelle, B. P. 2013. "Solar radiation glazing factors for window panes, glass structures and electrochromic windows in buildings - Measurement and calculation". *Solar Energy Materials and Solar Cells* no. 116:291-323. <http://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84879319338&partnerID=40&md5=0571fe9da86e8da50fae0e0a078552f4>.
- Jia, M., R. S. Srinivasan e A. A. Raheem. 2017. "From occupancy to occupant behavior: An analytical survey of data acquisition technologies, modeling methodologies and simulation coupling mechanisms for building energy efficiency". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* no. 68:525-540. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84994000394&doi=10.1016%2fj.rser.2016.10.011&partnerID=40&md5=d8bc76cfaa73b5f0878e8321d6edb89>.
- Johansson, Pär, Simon Pallin e Mohammad Shahriari. 2010. *Risk Assessment Model Applied on Building Physics: Statistical Data Acquisition and Stochastic Modeling of Indoor Moisture Supply in Swedish Multi-family Dwellings*.
- Killick, R. e I. A. Eckley. 2014. "Changepoint: An R package for changepoint analysis". *Journal of Statistical Software* no. 58 (3):1-19. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84911215702&partnerID=40&md5=374c4ca883190bd07b492fa3a77534e0>.
- Kleiminger, W., F. Mattern e S. Santini. 2014. "Predicting household occupancy for smart heating control: A comparative performance analysis of state-of-the-art approaches". *Energy and Buildings* no. 85:493-505. <http://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84908324413&partnerID=40&md5=0f0b58bc0a2619bac90bee0052d41410>.
- Kronvall e Persily. 1984. Personal communication. editado por David Harrije. Princeton University: Princeton University.
- Künzel, Hartwig M. 1995. *Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components*. Stuttgart.
- Kvisgaard, B. e P.F. Collet. 1986. "Occupants' influence on air change in dwellings". Comunicação apresentada em 7th AIC Conference, em Stratford-upon-Avon, UK.
- Lamberts, R., L. Dutra e F. O. R. Pereira. 1997. *Eficiência Energética na Arquitetura*. São Paulo.
- Laverge, J., N. Van Den Bossche, N. Heijmans e A. Janssens. 2011. "Energy saving potential and repercussions on indoor air quality of demand controlled residential ventilation strategies". *Building and Environment* no. 46 (7):1497-1503. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132311000333>.
- Lee, E. S., E. S. Claybaugh e M. Lafrance. 2012. "End user impacts of automated electrochromic windows in a pilot retrofit application". *Energy and Buildings* no. 47:267-284. <http://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84857047798&partnerID=40&md5=555eb139cb44e044e518ee9b3a49d0a8>.
- Lee, E. S., D. L. DiBartolomeo e S. E. Selkowitz. 1998. "Thermal and daylighting performance of an automated venetian blind and lighting system in a full-scale private office". *Energy and Buildings* no. 29 (1):47-63. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0032305060&partnerID=40&md5=bce0eacef27acb8d267e9e3327869365>.
- Lehman, Ann, Norm O'Rourke, Larry Hatcher e Edward Stepanski. 2013. *JMP for Basic Univariate and Multivariate Statistics: Methods for Researchers and Social Scientists*. 2nd ed.: SAS.
- Li, Z. e B. Dong. 2017. "A new modeling approach for short-term prediction of occupancy in residential buildings". *Building and Environment* no. 121:277-290. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85019706855&doi=10.1016%2fj.buildenv.2017.05.005&partnerID=40&md5=72a65bc43640c9424a66de01a4f9e097>.
- Liddament, M. 1996. "A Guide to Energy Efficient Ventilation". *AIVC*, 254.
- Lin, X. e J. Lau. 2014. "Demand controlled ventilation for multiple zone HVAC systems: CO2-based dynamic reset (RP 1547)". *HVAC and R Research* no. 20 (8):875-888. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84910620386&doi=10.1080%2f10789669.2014.945853&partnerID=40&md5=62d2aa6b0841b772e0f84c4025b58c68>.

- Lu, J., T. Sookoor, V. Srinivasan, G. Gao, B. Holben, J. Stankovic, E. Field e K. Whitehouse. 2010. "The smart thermostat: Using occupancy sensors to save energy in homes". Comunicação apresentada em 8th ACM International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, SenSys 2010, em Zurich.
- Lu, Tao, Anssi Knuutila, Martti Viljanen e Xiaoshu Lu. 2010. "A novel methodology for estimating space air change rates and occupant CO<sub>2</sub> generation rates from measurements in mechanically-ventilated buildings". *Building and Environment* no. 45 (5):1161-1172. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309003242>.
- Luo, M., B. Cao, X. Zhou, M. Li, J. Zhang, Q. Ouyang e Y. Zhu. 2014. "Can personal control influence human thermal comfort? A field study in residential buildings in China in winter". *Energy and Buildings* no. 72:411-418. <http://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84893145375&partnerID=40&md5=dce1f1fce7dfc407ced0f5e6070f2bc9>.
- Macpherson, R. K. 1962. "The Assessment of the Thermal Environment - A Review". *British Journal of Industrial Medicine*:151-164.
- Mahyuddin, N. e H. B. Awbi. 2012. "A review of CO<sub>2</sub> measurement procedures in ventilation research". *International Journal of Ventilation* no. 10 (4):353-370. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84859791880&partnerID=40&md5=4a57c8deb96d3129a931a1d0ad077d3f>.
- Manz, H. 2003. "Numerical simulation of heat transfer by natural convection in cavities of facade elements". *Energy and Buildings* no. 35 (3):305-311. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0037333127&partnerID=40&md5=41c757f8774b8cb85555fe5d4f581e8b>.
- Marcus, Steven J. 1983. "The 'Intelligent' Buildings". Acedido a 15 de abril. <http://www.nytimes.com/1983/12/01/business/the-intelligent-buildings.html>.
- Marques da Silva, F., M. G. Gomes e A. M. Rodrigues. 2015. "Measuring and estimating airflow in naturally ventilated double skin facades". *Building and Environment* no. 87:292-301. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84923323321&partnerID=40&md5=639d3d31d999b28c1fa1dd22a039727a>.
- MathWorks-Matlab. 2017. "findchangepts - Find abrupt changes in signal". <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/findchangepts.html>.
- Matias, Luís Manuel Cordeiro. 2010. "Desenvolvimento de um modelo adaptativo para definição das condições de conforto térmico em Portugal", Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa.
- Mei, Y. 2006. "Sequential change-point detection when unknown parameters are present in the pre-change distribution". *Annals of Statistics* no. 34 (1):92-122. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-33744827418&doi=10.1214%2f009053605000000859&partnerID=40&md5=72996db3402ed7e89c4252a01dc1b88e>.
- Melfi, R., B. Rosenblum, B. Nordman e K. Christensen. 2011. "Measuring building occupancy using existing network infrastructure". Comunicação apresentada em 2011 International Green Computing Conference and Workshops, IGCC 2011.
- Messerve, Thomas, Krzysztof Duszczuk, Nuno Martins, Piotr Dymarski, Haldor Samset, Nicolas Salmon, Régis Decorme e Manuel Ramiro. 2010. *E3SoHo - ICT for energy efficiency in social housings*.
- Mills, B. e J. Schleich. 2012. "Residential energy-efficient technology adoption, energy conservation, knowledge, and attitudes: An analysis of European countries". *Energy Policy* no. 49:616-628. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84865587173&doi=10.1016%2fj.enpol.2012.07.008&partnerID=40&md5=02a062ebd806a554bcf5a36441ddf5ce>.
- Möllers, F., S. Seitz, A. Hellmann e C. Sorge. 2014. "Short paper: Extrapolation and prediction of user behaviour from wireless home automation communication". Comunicação apresentada em WiSec 2014 - Proceedings of the 7th ACM Conference on Security and Privacy in Wireless and Mobile Networks.

- Mora, D., C. Carpinio e M. de Simone. 2017. "Energy consumption of residential buildings and occupancy profiles. A case study in Mediterranean climatic conditions". *Energy Efficiency*:1-25. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85027015736&doi=10.1007%2fs12053-017-9553-0&partnerID=40&md5=91abc93c5be4b7ac057bb78a2f8b6036>.
- Moret Rodrigues, Antônio, Antônio Canha da Piedade e Ana Marta Braga. 2009. *Térmica de Edifícios*.
- Mozer, Michael C. 2005. "Lessons from an adaptive house". *Smart environments: Technologies, protocols, and applications*:273-294.
- Nguyen, T. A. e M. Aiello. 2013. "Energy intelligent buildings based on user activity: A survey". *Energy and Buildings* no. 56:244-257. <http://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84870676065&partnerID=40&md5=00792548dfd45be40bcfaef278342d51>.
- Nicol, J. F. 2001. "Characterising occupant behaviour in buildings: Towards a stochastic model of occupant use of windows, lights, blinds, heaters and fans". *Proceedings of the 7th International IBPSA Conference* (7):1073-1078.
- Nielsen, T. R. e C. Drivsholm. 2010. "Energy efficient demand controlled ventilation in single family houses". *Energy and Buildings* no. 42 (11):1995-1998. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77956172174&doi=10.1016%2fj.enbuild.2010.06.006&partnerID=40&md5=d3de7b1b1e24d53daa3101f18b4fa8dd>.
- Nikolaou, T., D. Kolokotsa, G. Stavrakakis, Cristian Ghiaus, Christian Inard, M. Zinzi, G. Fasano, Z. Liao, G. Stherland, S. Karatasou e M. Santamouris. 2004. *Intelligent Building Assessment Methodology - Smart Accelerate Project*.
- Nikolopoulos, N., A. Nikolopoulos, T. S. Larsen e K. S. P. Nikas. 2012. "Experimental and numerical investigation of the tracer gas methodology in the case of a naturally cross-ventilated building". *Building and Environment* no. 56:379-388. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84860322686&partnerID=40&md5=f84af3f6d3dcc99a17034365ca3cbb32>.
- NIOSH. 2007. *Pocket guide to chemical hazards*.
- NP-1037-2. 2009. *Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás Parte 2: Edifícios de habitação - Ventilação mecânica centralizada (VMC) de fluxo simples*.
- Ochoa, C. E. e I. G. Capeluto. 2009. "Advice tool for early design stages of intelligent facades based on energy and visual comfort approach". *Energy and Buildings* no. 41 (5):480-488. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-62649125162&partnerID=40&md5=390e11f354f3212e1ab57c9d03090f93>.
- Olesen, B. W. 2004. "International standards for the indoor environment". *Indoor Air, Supplement* no. 14 (SUPPL. 7):18-26. <http://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-20844444925&partnerID=40&md5=72f2c29153c0bb7f49380d5e9294d3bd>.
- Oliveira, Amauri P. de, João F. Escobedo, Artemio Plana-Fattori, Jacyra Soares e Paulo M. dos Santos. 1996. "Medidas de radiação solar na cidade de São Paulo: Calibração de piranômetros e aplicações meteorológicas".
- Peng, Chen, Da Yan, Ruhong Wu, Chuang Wang, Xin Zhou e Yi Jiang. 2012. "Quantitative description and simulation of human behavior in residential buildings". *Building Simulation* no. 5 (2):85-94. <http://dx.doi.org/10.1007/s12273-011-0049-0>.
- Pereira, Pedro F., Nuno M. M. Ramos, Ricardo M. S. F. Almeida, M. Lurdes Simões e Eva Barreira. 2017. "Occupant influence on residential ventilation patterns in mild climate conditions". *Energy Procedia* no. 132 (Supplement C):837-842. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217348166>.
- Persily, A. K. 1996. "The relationship between indoor air quality and carbon dioxide". Comunicação apresentada em 7th Indoor Air Quality and Climate, em Nagoya, JP.
- Pinto, M., J. Viegas e V. P. de Freitas. 2011. "Air permeability measurements of dwellings and building components in Portugal". *Building and Environment* no. 46 (12):2480-2489. <http://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79960914935&partnerID=40&md5=a99de0a4f327372e6d3cd05fe47cd94d>.



- Portaria\_n.º353-A/2013. 2013. *Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços (RECS) - Requisitos de ventilação e qualidade do ar interior*.
- Porto, Department of Civil Protection of the City Hall of. 2018. "Meteorological Station of Porto". Acedido a 06-2018. <https://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=IPORTOPO9>.
- Proença, Maria do Carmo e Manuela Cano. 2010. "Qualidade do ar interior". Em *Ventilação e qualidade do ar interior*, editado por LNEC. Lisboa.
- Ramos, N. M. M., R. M. S. F. Almeida, A. Curado, P. F. Pereira, S. Manuel e J. Maia. 2015. "Airtightness and ventilation in a mild climate country rehabilitated social housing buildings - What users want and what they get". *Building and Environment* no. 92:97-110. <http://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84929497412&partnerID=40&md5=c2c2d125c6ac3a33ea651f1830ab0ebb>.
- Ramos, Nuno M. M., António Curado e Ricardo M. S. F. Almeida. 2015. "Analysis of user behavior profiles and impact on the indoor environment in social housing of mild climate countries". Comunicação apresentada em 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015, em Turim.
- Reinisch, Christian, Mario J. Kofler, Félix Iglesias e Wolfgang Kastner. 2011. "ThinkHome energy efficiency in future smart homes". *EURASIP Journal on Embedded Systems - Special issue on networked embedded systems for energy management and buildings* no. 2011.
- REMODECE. 2015. "Residential Monitoring to Decrease Energy Use and Carbon Emissions in Europe". <http://remodece.isr.uc.pt/>.
- Ren, X., D. Yan e T. Hong. 2015. "Data mining of space heating system performance in affordable housing". *Building and Environment* no. 89:1-13. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84923337785&partnerID=40&md5=99505a6e9cf435b66c8b429105fad7af>.
- Rijal, H. B., M. Humphreys e F. Nicol. 2015. "Adaptive thermal comfort in Japanese houses during the summer season: Behavioral Adaptation and the Effect of Humidity". *Buildings* no. 5 (3):1037-1054. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84958774002&doi=10.3390%2fbuildings5031037&partnerID=40&md5=ea8a637300e924c58d8e743d79075548>.
- Rohles, Frederick H. 2007. "Temperature & Temperament: A Psychologist Looks at Comfort". *ASHRAE Journal*.
- Russel, Stuart J. e Peter Norvig. 2003. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*.
- Schell, M. B., S. C. Turner e R. O. Shim. 1998. "Application of CO2-based demand-controlled ventilation using ASHRAE Standard 62: optimizing energy use and ventilation". Comunicação apresentada em ASHRAE Transactions.
- Schell, M. e D. Int-Hout. 2001. "Demand control ventilation using CO2". *ASHRAE Journal* no. 43 (2). <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-17544405083&partnerID=40&md5=3c298a87391d1c5a66503e9dff1b6de3>.
- Schneider, T., H. W. de Koning e L. J. Brasser. 1978. *Air Pollution Reference Measurement Methods and Systems*.
- Sedlbauer, K. 2001. "Prediction of mould fungus formation on the surface of inside building components", Building Physics, Fraunhofer Institut.
- Seppanen; Cor J M Van Den Bogaard; Michael Wilson; Peter Wouters, Geo Clausen; Eduardo De Oliveira Fernandes; Willem De Gids; Christophe Delmotte; Sten Olaf Hanssen; Stylianos Kephelopoulous; Marie-Claude Lemaire; Thomas Lindvall; Fergus Nicol; Mat Santamouris; Olli. 2003. *Ventilation, Good Indoor Air Quality and Rational Use of Energy*.
- Sharpe, T., P. Farren, S. Howieson, P. Tuohy e J. McQuillan. 2015. "Occupant interactions and effectiveness of natural ventilation strategies in contemporary new housing in Scotland, UK". *International Journal of Environmental Research and Public Health* no. 12 (7):8480-8497. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84937833706&doi=10.3390%2fijerph120708480&partnerID=40&md5=4278c25fbe0a55b55da5e9feaf2db2d2>.

- Sherman, M. e D. Dickerhoff. 1989. "A multigas tracer system for multizone air flow measurements". *Proceedings ASHRAE/DOE/BTECC conference, Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings Conference IV*:417–432.
- Sherman, M. H. 1990. "Tracer-gas techniques for measuring ventilation in a single zone". *Building and Environment* no. 25 (4):365-374. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0025664796&partnerID=40&md5=ef6db5f668372adf8b25655962561119>.
- Sherman, Max. 1987. "Estimation of Infiltration from leakage and Climate Indicators". *Energy and Buildings*.
- Silva, A. S. e E. Ghisi. 2014. "Uncertainty analysis of user behaviour and physical parameters in residential building performance simulation". *Energy and Buildings* no. 76:381-391. <http://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84897451117&partnerID=40&md5=02fe7b15dd9a1513f828baaaf6881091>.
- Silva, António Manuel Cruz Rocha e. 1991. "Caracterização das infiltrações médias anuais em edifícios portugueses através do método de pressurização", Mechanical Faculty of Engineering - University of Porto.
- Simonson, Carey J., Mikael Salonvaara e Tuomo Ojanen. 2001. *Improving Indoor Climate and Comfort with Wooden Structures*.
- Sinnott, D. e M. Dyer. 2011. "Airtightness of dwellings in Ireland: Design, workmanship and control", em Salford.
- Sinopoli, James. 2010. *Smart Building Systems for Architects, Owners, and Builders*. Elsevier Inc.
- So, Albert Ting-pat e Wai Lok Chan. 1999. *Intelligent Building Systems*. Kluwer Academic Publishers.
- Sonderegger, R. C. 1978. "Dynamic models of house heating based on equivalent thermal parameters", Princeton Univ., NJ., Princeton University.
- Stazi, F., F. Naspi e D'Orazio. 2017a. "Modelling window status in school classrooms. Results from a case study in Italy". *Building and Environment* no. 111:24-32. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84993929609&doi=10.1016%2fj.buildenv.2016.10.013&partnerID=40&md5=08f9785af4151a7dad41e57e7e42eada>.
- Stazi, F., F. Naspi e M. D'Orazio. 2017b. "A literature review on driving factors and contextual events influencing occupants' behaviours in buildings". *Building and Environment* no. 118:40-66. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85015988086&doi=10.1016%2fj.buildenv.2017.03.021&partnerID=40&md5=3bcee46a430f7e4cc70b09db5bf1b941>.
- Stazi, F., F. Naspi, G. Ulpiani e C. Di Perna. 2017. "Indoor air quality and thermal comfort optimization in classrooms developing an automatic system for windows opening and closing". *Energy and Buildings* no. 139:732-746. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85012281765&doi=10.1016%2fj.enbuild.2017.01.017&partnerID=40&md5=9980fd3edf1e2a98e83e8ec33a40f76a>.
- Steemers, K. e G. Y. Yun. 2009. "Household energy consumption: A study of the role of occupants". *Building Research and Information* no. 37 (5-6):625-637. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-70349645107&doi=10.1080%2f09613210903186661&partnerID=40&md5=698ce0e33dd3e30e0cf36e647c612469>.
- Sundell, J., H. Levin, W. W. Nazaroff, W. S. Cain, W. J. Fisk, D. T. Grimsrud, F. Gyntelberg, Y. Li, A. K. Persily, A. C. Pickering, J. M. Samet, J. D. Spengler, S. T. Taylor e C. J. Weschler. 2011. "Ventilation rates and health: Multidisciplinary review of the scientific literature". *Indoor Air* no. 21 (3):191-204. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79956024495&doi=10.1111%2fj.1600-0668.2010.00703.x&partnerID=40&md5=92f3322014770af310872aa6683a24e0>.
- Szczurek, A., M. Maciejewska, A. Wyłomańska, R. Zimroz, G. Żak e A. Dolega. 2016. "Detection of occupancy profile based on carbon dioxide concentration pattern matching". *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* no. 93:265-271. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

- [84990924535&doi=10.1016/j.measurement.2016.07.036](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.07.036)&partnerID=40&md5=3fe8d7507d0d399f34da180b70c6b2fc.
- Team, R Core. 2014. "R: A Language and Environment for Statistical Computing. ". <https://www.r-project.org/>.
- Van Den Wymelenberg, K. 2012. "Patterns of occupant interaction with window blinds: A literature review". *Energy and Buildings* no. 51:165-176. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84861832771&partnerID=40&md5=3a343e6e07ee8f12fb4c488f35c70806>.
- Wallace, L. A., S. J. Emmerich e C. Howard-Reed. 2002. "Continuous measurements of air change rates in an occupied house for 1 year: The effect of temperature, wind, fans, and windows". *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* no. 12 (4):296-306. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0036068753&partnerID=40&md5=63e1c3a9fcb9ffa807a234b56bb935d0>.
- Wang, Shengwei. 2010. *Intelligent buildings and building automation*. Taylor & Francis.
- Wei, Shen, Rory Jones e Pieter de Wilde. 2014. "Driving factors for occupant-controlled space heating in residential buildings". *Energy and Buildings* no. 70 (0):36-44. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877881300683X>.
- Weng, T. e Y. Agarwal. 2012. "From buildings to smart buildings-sensing and actuation to improve energy efficiency". *IEEE Design and Test of Computers* no. 29 (4):36-44. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84867821726&doi=10.1109/2fMDT.2012.2211855&partnerID=40&md5=33a70c34a78418a31e07805576002c0e>.
- Whitehouse, K., J. Ranjan, J. Lu, T. Sookoor, M. Saadat, C. M. Burke, G. Staengl, A. Canfora e H. Haj-Hariri. 2012. "Towards occupancy-driven heating and cooling". *IEEE Design and Test of Computers* no. 29 (4):17-25. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84867814988&partnerID=40&md5=44c8ea621f834bfc087251ad745084da>.
- Wigginton, Michael e Jude Harris. 2002. *Intelligent skins*. Editado por Elsevier.
- Wilke, Urs, Frédéric Haldi, Jean-Louis Scartezzini e Darren Robinson. 2013. "A bottom-up stochastic model to predict building occupants' time-dependent activities". *Building and Environment* no. 60 (0):254-264. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132312002867>.
- Winston, Patrick Henry. 1993. *Artificial Intelligence*.
- Wong, J. K. W., H. Li e S. W. Wang. 2005. "Intelligent building research: A review". *Automation in Construction* no. 14 (1):143-159. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-10444258169&partnerID=40&md5=b4a5e230237eabe800377af7074f1a37>.
- Wong, K C, T P Albert So e Y T Andrew Leung. 2005. *Intelligent Building Index*. Editado por Asian Institute of Intelligent Buildings. third edition ed.
- Wood, G. e M. Newborough. 2007. "Energy-use information transfer for intelligent homes: Enabling energy conservation with central and local displays". *Energy and Buildings* no. 39 (4):495-503. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33846939481&partnerID=40&md5=79b4ff51bbd76fe263023075d0e00c27>.
- WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould.
- Wyckmans, Annemie. 2005. "Intelligent Building Envelopes - Architectural Concept & Applications for Daylighting Quality", Department of Architectural Design, History and Technology Norwegian University of Science and Technology.
- Yan, D., T. Hong, B. Dong, A. Mahdavi, S. D'Oca, I. Gaetani e X. Feng. 2017. "IEA EBC Annex 66: Definition and simulation of occupant behavior in buildings". *Energy and Buildings* no. 156:258-270. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85030723429&doi=10.1016/j.enbuild.2017.09.084&partnerID=40&md5=00cc7c4b1482297f6f9642fbf4ef979c>.
- Yan, D., W. O'Brien, T. Hong, X. Feng, H. Burak Gunay, F. Tahmasebi e A. Mahdavi. 2015. "Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges". *Energy and Buildings* no. 107:264-278. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84940513201&partnerID=40&md5=3d626d60485cc9a7b34f92bca19b1a57>.

- Yan, Da e Tianzhen Hong. 2014. EBC Annex 66 - Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings.
- Yang, J. e H. Peng. 2001. "Decision support to the application of intelligent building technologies". *Renewable energy* no. 22 (1):67-77. Acedido a 1 February 1999 through 28 February 1999. <http://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0035216491&partnerID=40&md5=da74689df329970ef4ce3b81e30b9e67>.
- Yang, Z., B. Becerik-Gerber, N. Li e M. Orosz. 2014. "A systematic approach to occupancy modeling in ambient sensor-rich buildings". *SIMULATION* no. 90 (8):960-977. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84905979634&doi=10.1177%2f0037549713489918&partnerID=40&md5=79ea79f902a925130a4de8eef1541b58>.
- Yao, M. e B. Zhao. 2017. "Window opening behavior of occupants in residential buildings in Beijing". *Building and Environment* no. 124:441-449. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85028320308&doi=10.1016%2fj.buildenv.2017.08.035&partnerID=40&md5=0c884bdfa4a7afffa6b395d1b7912d2>.
- Ye, W., X. Zhang, J. Gao, G. Cao, X. Zhou e X. Su. 2017. "Indoor air pollutants, ventilation rate determinants and potential control strategies in Chinese dwellings: A literature review". *Science of the Total Environment* no. 586:696-729. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85012870302&doi=10.1016%2fj.scitotenv.2017.02.047&partnerID=40&md5=33b8871a62cf974e0b44c848603397ca>.
- Yoshino, Hiroshi, Shuzo Murakami, Shin-ichi Akabayashi, Takashi Kurabuchi, Shinsuke Kato, Shin-ichi Tanabe, Koichi Ikeda, Haruki Osawa, Takao Sawachi, Akira Hukushima e Mayumi Adachi. "Survey on minimum ventilation rate of residential buildings in fifteen countries".
- ZeroCarbonHub. 2015. POST-OCCUPANCY EVALUATION. Em *Rowner Research Project Phase Two*
- Zhang, S., S. I. McClean e B. W. Scotney. 2012. "Probabilistic learning from incomplete data for recognition of activities of daily living in smart homes". *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine* no. 16 (3):454-462. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84860685669&doi=10.1109%2fTITB.2012.2188534&partnerID=40&md5=e6e4656edbccc6474dc9ff7d3e9c5cb68>.
- Zhou, J. e Y. Chen. 2010. "A review on applying ventilated double-skin facade to buildings in hot-summer and cold-winter zone in China". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* no. 14 (4):1321-1328. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-76349088257&partnerID=40&md5=23b892436132b601214d31d06b42f758>.
- Zouba, N., F. Bremond e M. Thonnat. 2009. "Multisensor fusion for monitoring elderly activities at home". Comunicação apresentada em 6th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, AVSS 2009.

# **ANEXO I**



Tabela 48 – Probabilidade de ocorrência de duchas ao longo das 24h (Johansson, Pallin et al. 2010).

Probabilidade de ocorrência de duchas ao longo das 24h [%]																							
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0,23	0,23	0,26	0,29	1,25	4,82	9,59	11,65	8,31	6,25	4,85	3,17	2,21	1,54	1,54	1,95	3,02	4,39	6,22	10,14	8,43	5,14	3,05	1,37

Tabela 49 – Duração média de duche (Johansson, Pallin et al. 2010).

Duração média de um duche	
(Christian, J.E. 1993)	Entre 5 a 15 min
(Hansen, A.T. 1984; Angell, W.J. & Olson, W.W. 1988; Rousseau, M.Z. 1984; Kalamees T. et al. 2006).	5 min

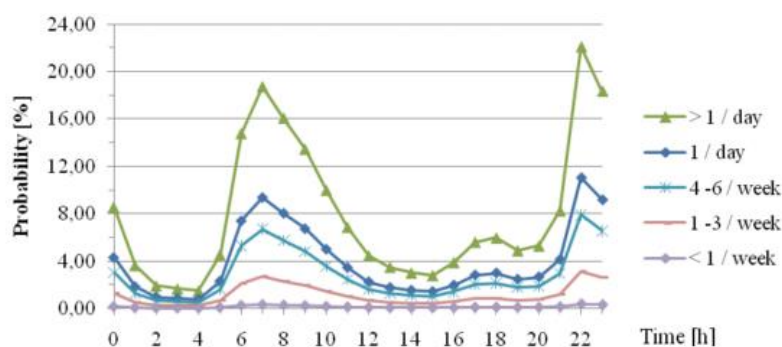


Figura 129 – Probabilidade de ocorrência de banhos ao longo das 24h (Johansson, Pallin et al. 2010).

Tabela 50 – Duração média e desvio padrão, máxima e mínima de banhos em diferentes estações (Johansson, Pallin et al. 2010).

Duração dos banhos [min]				
Estação	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
Verão	12:49	04:48	21:25	04:17
Outono	16:50	05:53	28:48	05:22
Inverno	11:33	04:50	24:16	06:02

Tabela 51 – Produção de vapor de água de banhos e sauna (Johansson, Pallin et al. 2010).

Produção de vapor em banheira e jacuzzi [Kg/h]	
$w_p = 0,144 \times A \times (p_w - p_a) \times F_a$	
Onde:	<p><math>w_p</math> = Evaporação de água [kg/h]</p> <p><math>A</math> = área da superfície de água exposta [m<sup>2</sup>]</p> <p><math>p_w</math> = pressão de saturação da água à temperatura da superfície [kPa]</p> <p><math>p_a</math> = pressão de saturação da água à temperatura do ponto de orvalho do espaço [kPa]</p> <p><math>F_a</math> = Fator de atividade – No caso de edifícios residenciais é tipicamente 0,5 e 1,0 para jacuzzi</p>
Produção de vapor em sauna [Kg/dia]	
Christian J. E. 1994	1,03
Lstiburek J et al. 1994	0 – 1,28
Kalameed T. et al. 2006	1,00

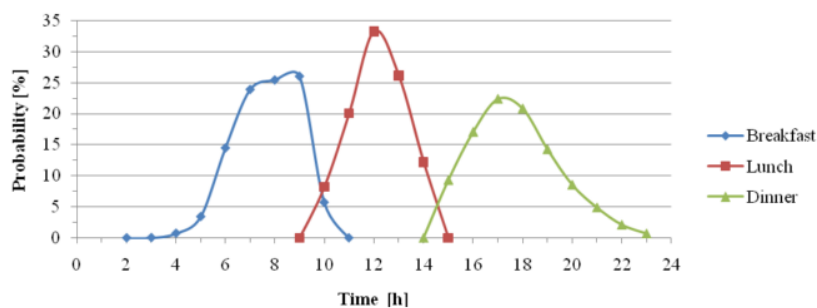


Figura 130 – Probabilidade de ocorrência de preparação de refeições ao longo das 24h (Johansson, Pallin et al. 2010).



Tabela 52 – Produção de vapor de água médio na confecção de refeições (Johansson, Pallin et al. 2010).

Autores	Produção de vapor [kg]		
	Pequeno almoço	Almoço	Jantar
Angell W.e Olsson W. 1988	0,17-0,52	0,25-1,75	0,58-1,75
Yik F.W.H. et all. 2004	0,26	0,95	3,86
CIBSE 1999	0,13-0,45	0,31-1,03	0,46-1,52
Rousseau M. Z. 1984	0,15	0,34	0,51
Hansen A. T. 1984	0,14	0,32	0,47
Christian J. E. 1993	0,36	0,82	1,22

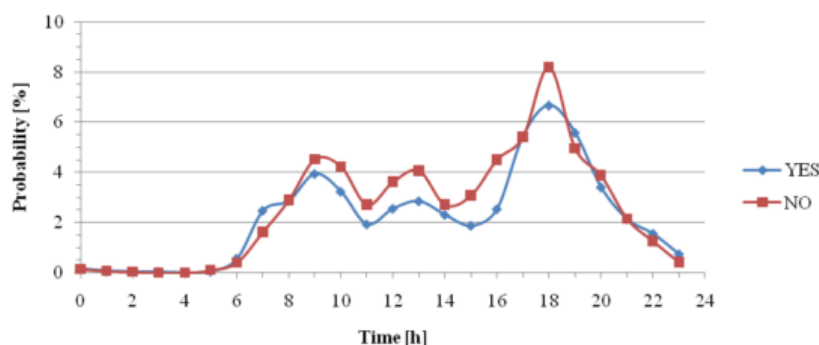


Figura 131 – Probabilidade de ocorrência de lavagem da louça numa casa equipada com máquina (yes) ou não (no) ao longo das 24h (Johansson, Pallin et al. 2010).

Tabela 53 – Probabilidade de ocorrência de utilização de máquinas de lavar em diferentes habitações (Johansson, Pallin et al. 2010).

Probabilidade de ocorrência	Unifamiliar	Multifamiliar	N.º de habitantes				
			1	2	3	4	≥5
Uma vez por dia	19,0%	8,2%	2,3%	12,4%	20,0%	26,4%	46,3%
4 a 6 vezes por semana	19,7%	10,2%	4,6%	16,7%	26,4%	27,4%	20,9%
2 a 3 vezes por semana	34,3%	31,6%	35,1%	43,8%	30,0%	25,5%	14,9%
Uma vez por semana	12,8%	19,4%	27,5%	14,2%	9,1%	6,6%	4,5%
Menos de uma vez por semana	14,0%	30,6%	29,8%	12,9%	14,5%	13,2%	14,9%

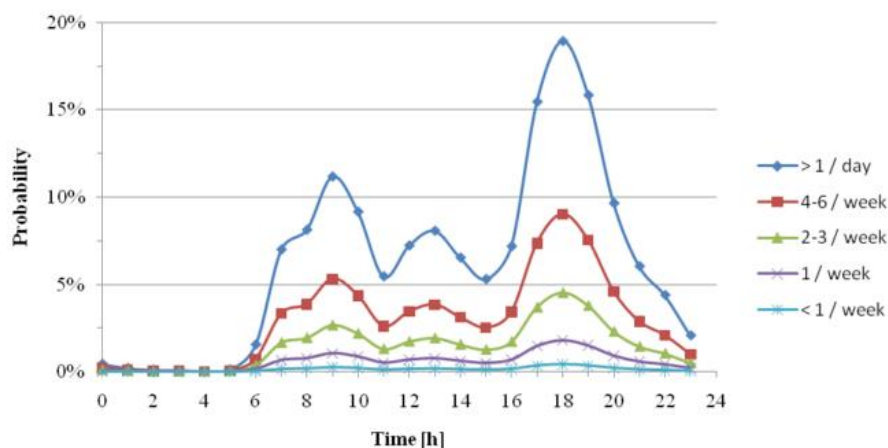


Figura 132 – Probabilidade de ocorrência de utilização de máquina de lavar louça ao longo das 24h (Johansson, Pallin et al. 2010).

Tabela 54 – Duração média de lavar louça à mão e produção de vapor de água (Johansson, Pallin et al. 2010).

Duração media lavar a louça à mão	
(HETUS. 2005-2007)	25 a 32 min
Produção de vapor de água [kg/5min]	
Angell W. J. 1988	0,25
Christian J. E. 1994	0,22
CIBSE 1999	0,20-0,38
Hansen A.T. 1984	0,23
Rousseau M. 1984	0,35
Kalamees T. 2006	0,30

Tabela 55 – Produção de vapor de água médio da lavagem de louça à mão das diferentes refeições ou média diária (Johansson, Pallin et al. 2010).

Autor	Produção de vapor [kg]			
	Pequeno almoço	Almoço	Jantar	Média diária
Angell W.e Olsson W. 1988	0,10	0,08	0,32	0,50
Hansen A. T. 1984	-	-	-	0,45
Rousseau M. Z. 1984	-	-	-	0,60
Christian J. E. 1993	-	-	-	0,50
CIBSE 1999	-	-	-	0,45

Tabela 56 – Duração média de lavar louça na máquina e produção de vapor (Johansson, Pallin et al. 2010).

Duração média de lavar louça à máquina	
(Härefors, G. 2010)	2 a 3 horas
Produção de vapor	
(Härefors, G. 2010)	0,2 kg a 0,4 kg
(ASHRAE. 2005)	0,180 kg/h

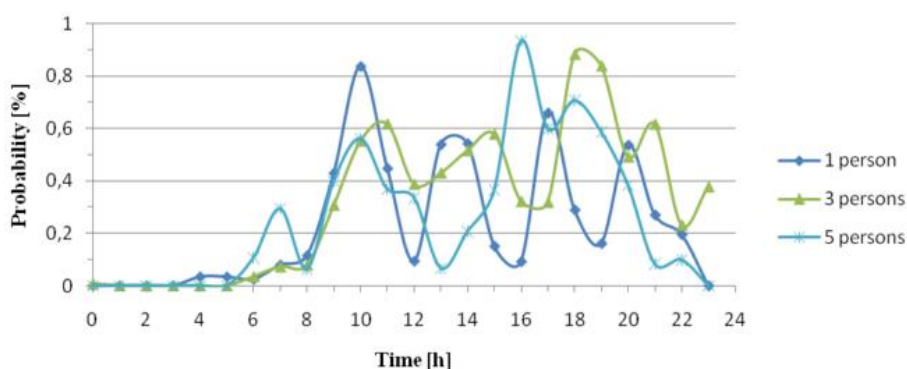


Figura 133 – Probabilidade de ocorrência de utilização de ferro ao longo das 24h (Johansson, Pallin et al. 2010).

Tabela 57 – Duração média de utilização de ferro e produção de vapor (Johansson, Pallin et al. 2010).

Duração média de utilização de ferro de engomar	
(SCB. 2003)	38 min. Variando entre 31 e 53 min.
Produção de vapor	
(Yik, F.W.H. 2004)	0,585kg

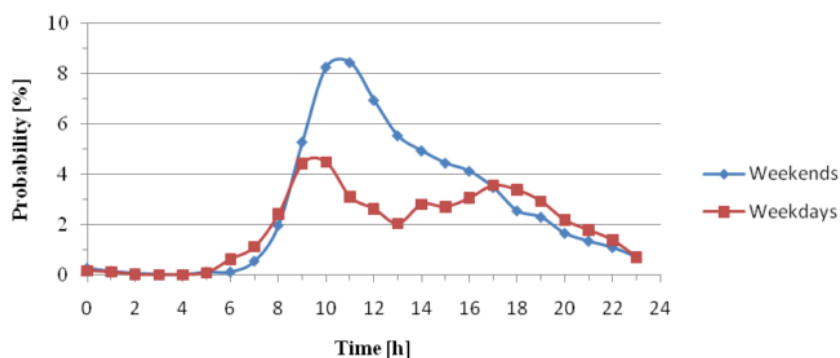


Figura 134 – Probabilidade de ocorrência de limpeza da casa ao longo das 24h (Johansson, Pallin et al. 2010).

Tabela 58 – Produção de vapor na limpeza do chão (Johansson, Pallin et al. 2010).

Produção de vapor na limpeza do chão
0,01 a 0,1 kg

Tabela 59 – Produção de vapor de água da secagem de roupa (Johansson, Pallin et al. 2010).

Produção de vapor de água da secagem de roupa [kg/carga]				
Angell W.J.1988	CIBSE 1999	Ik F. W. H. 2004	Rousseau M. Z, 1984	Hansen A. T. 1984
2,2-2,92	1,25-3,5	1,66	1,75	1,92

Tabela 60 – Probabilidade de existência de animais nas habitações e seu peso assim como produção média de vapor de água gerado (Johansson, Pallin et al. 2010).

Fator de incidência de habitações com animais de estimação na Suécia			
Espécie	Probabilidade [%]	Peso do animal [kg]	Produção de vapor [g/h]
Cães	12,8	3,0-65,0	2,48-53,6
Gatos	16,8	4,0-11,0	3,30-9,08
Coelhos	2,0	0,4-3,0	0,33-2,48
Porco da Guiné	1,0	0,7-1,2	0,58-0,99
Pássaros	1,9	0,05-1,0	0,04-0,83
Rato/Hamster	0,34	0,03-0,65	0,02-0,54
Tartaruga	0,25	0,3-5,0	0,25-4,13
Réptil	0,35	0,01-20,0	0,01-16,5

Tabela 61 – Probabilidade de existência de aquários nas habitações assim como produção média de vapor de água gerado (Johansson, Pallin et al. 2010).

Distribuição de aquários na suécia	
(SCB. 2006b)	4,0 %
Produção de vapor de água de aquários	
(Matarana, M. et al. 2009)	0,55 a 2,2 kg/dia
2,2 kg/m <sup>2</sup> superfície de água	
Aquariofilia	0,4 a 1,4 kg/dia

Tabela 62 – Probabilidade de existência de plantas nas habitações assim como produção média de vapor de água gerado (Johansson, Pallin et al. 2010).

Distribuição de plantas	
Suécia	1 planta por 7,5 m <sup>2</sup> de pavimento
Produção de vapor de água de plantas	
Christian 1994	0,12-0,5 Kg/dia
Freches 2001	0,1-0,36
Rousseau 1984	≈ 0,08
Yik et al. 2004	≈ 0,02
Angell 1988	≈ 0,065

Tabela 63 – Produção de vapor de água gerado de diversas atividades numa habitação (Johansson, Pallin et al. 2010).

Produção de vapor – Transpiração e Respiração [kg/h/pessoa]			
Atividade	Christian 1994	CIBSE 1999	Yik et al. 2004
Dormir			0,043
Atividade ligeira	0,03-0,12	0,04	0,065
Atividade média	0,12-0,2		0,079
Atividade pesada	0,2-0,3	0,1	0,102

Tabela 64 – Produção de vapor de água anual de diferentes tipos de habitações (Johansson, Pallin et al. 2010).

Produção de vapor	Unifamiliar		Multifamiliar	
	[g/h, ano]	[kg/dia, ano]]	[g/h, ano]	[kg/dia, ano]]
Média	298,3	7,16	196,4	4,71
Mínimo	114,3	2,74	97,0	2,33
Máximo	896,7	21,52	826,8	19,84
Desvio padrão	110,3	2,65	96,5	2,32

Tabela 65 – Duração e probabilidade de ocorrência de diversas atividades numa habitação assim como produção média de vapor de água gerado (Johansson, Pallin et al. 2010).

User behavior - Time spent at home due to type of physical activity.		Single parent with child/children				Married/Cohabited person with child/children				Prod. rate
		Weekdays		Weekends		Weekdays		Weekends		
Activity		[min]	[%]	[min]	[%]	[min]	[%]	[min]	[%]	[g/h]
[1]	Sleep	404	96.0	508	95.1	420	98.6	510	97.3	30
[2]	Eating	54	92.6	68	94.1	58	96.6	90	95.6	66
[3]	Other personal care	44	88.6	46	89.1	41	95.1	41	92.7	81-100
[4]	Main and second job	162	15.4	0	0.0	144	15.3	79	10.1	66-100
[5]	Homework	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	66
[6]	Food preparation	33	78.8	49	87.8	36	75.0	59	76.3	81
[7]	Dish washing	22	50.0	27	74.1	22	59.1	32	62.5	81
[8]	Cleaning dwelling	32	46.9	57	75.4	27	44.4	53	58.5	81-118
[9]	Other household upkeep	0	0.0	0	0.0	36	5.6	57	10.5	100-206
[10]	Laundry	32	28.1	43	44.2	26	23.1	36	33.3	100-206
[11]	Ironing	0	0.0	35	11.4	36	8.3	53	9.4	81-118
[12]	Handicraft	0	0.0	0	0.0	0	0.0	53	3.8	66-118
[13]	Caring for pets	0	0.0	18	11.1	19	5.3	22	13.6	66
[14]	Construction and repairs	0	0.0	0	0.0	71	8.5	77	19.5	100-272
[15]	Supervision of child	33	51.5	48	52.1	26	38.5	31	35.5	66-100
[16]	Teaching/reading w. child	32	37.5	42	40.5	34	32.4	39	28.2	51-100
[17]	Other domestic work	22	31.8	26	42.3	29	34.5	40	37.5	81-118
[18]	Visits and feasts	0	0.0	89	10.1	0	0.0	94	11.7	51-66
[19]	Other social life	35	42.9	41	51.2	29	51.7	45	53.3	51-66
[20]	Resting	33	30.3	35	37.1	36	22.2	45	35.6	44-51
[21]	Computer	0	0.0	73	17.8	45	11.1	51	19.6	44-51
[22]	Other hobbies and games	0	0.0	56	8.9	44	6.8	65	12.3	44-66
[23]	Reading books	46	10.9	51	17.6	37	16.2	63	17.5	44
[24]	Other reading	31	35.5	45	40.0	31	41.9	42	42.9	44
[25]	TV and video	87	70.1	139	75.5	90	78.9	140	77.9	44-51
[26]	Radio and music	0	0.0	0	0.0	0	0.0	34	8.8	44-51

Tabela 66 – Cinco principais fontes de produção de humidade (Johansson, Pallin et al. 2010).

Produção de vapor das cinco fontes mais críticas [g/h, ano]	
Secagem sem ventilação	78,4
Humanos	72,0
Tomar duche	42,1
Preparação de refeição – jantar	38,3
Aquários	35,1

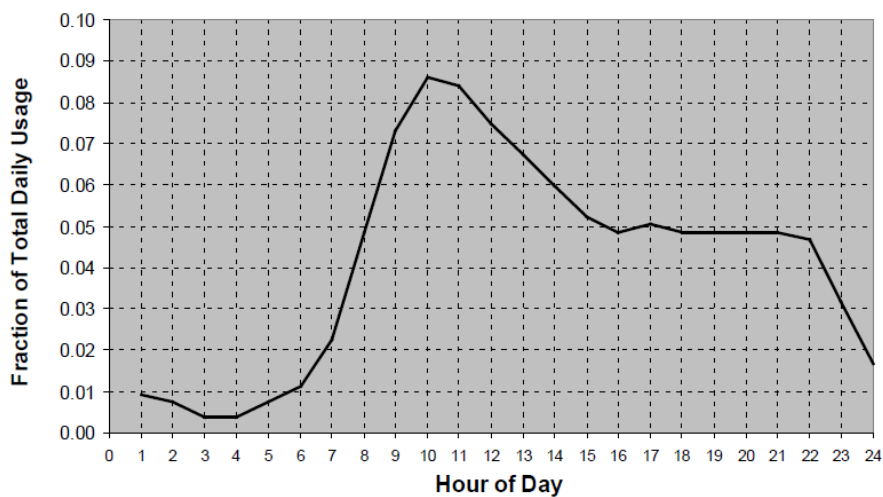


Figura 135 – Perfil diário de utilização da máquina de lavar roupa (Hendron e Engebrecht 2010).

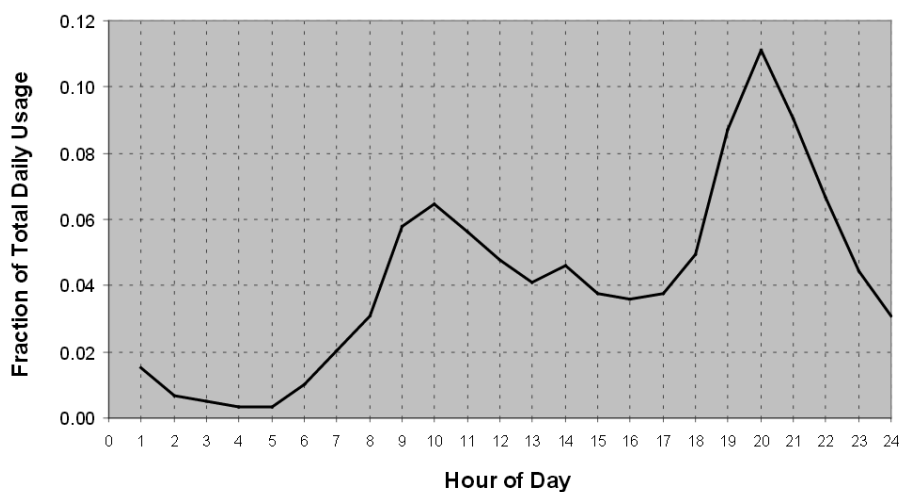


Figura 136 – Perfil diário de utilização das máquinas de lavar louça (Hendron e Engebrecht 2010).

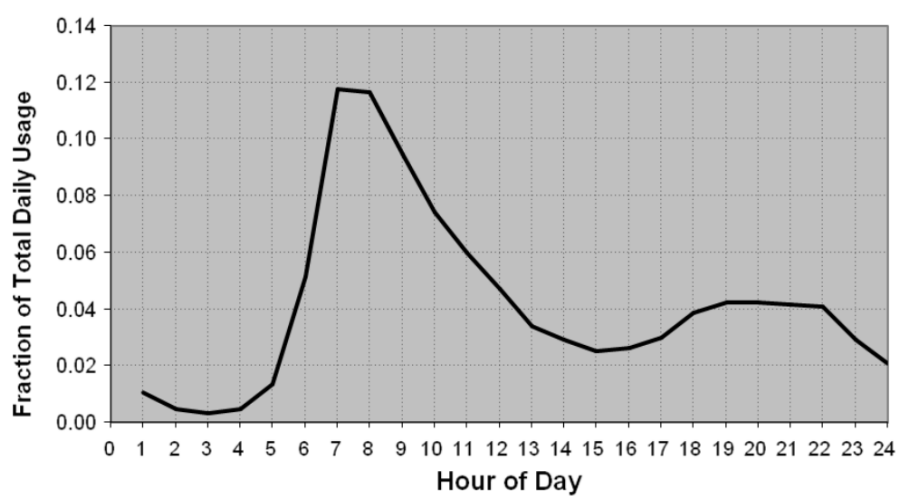


Figura 137 – Perfil diário de uso de duchas (Hendron e Engebrecht 2010).

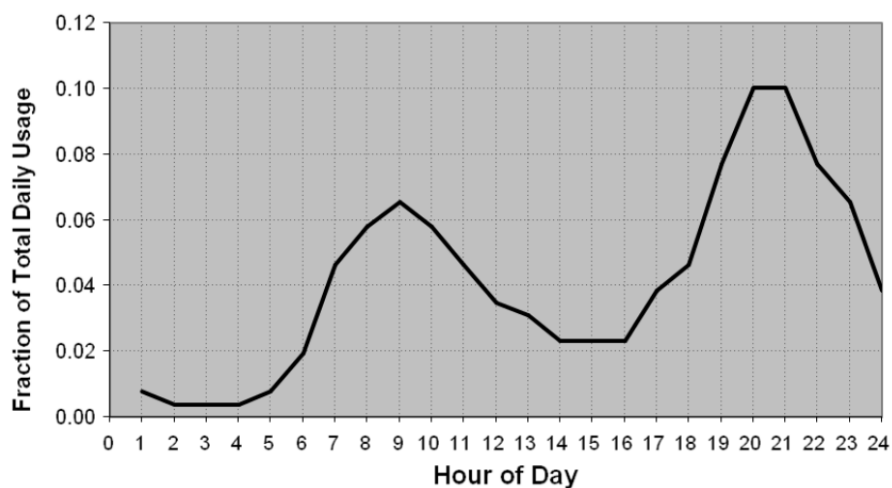


Figura 138 – Perfil diário de uso de banheiras (Hendron e Engebrecht 2010).

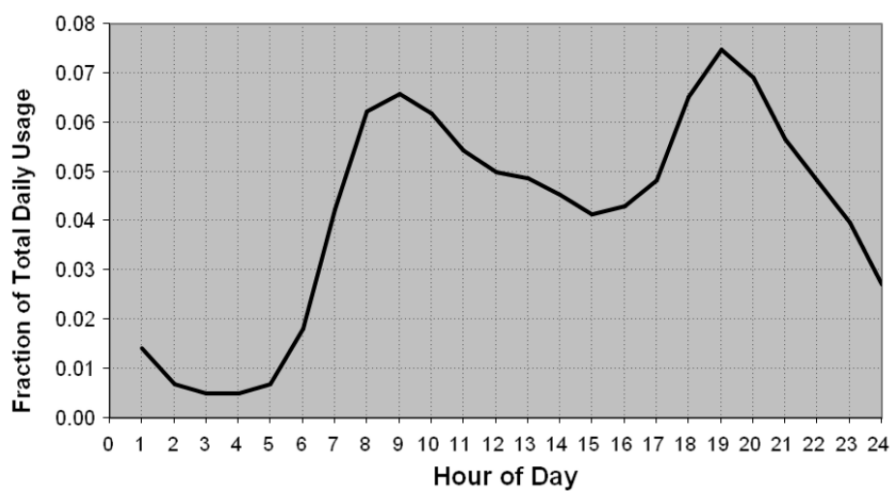


Figura 139 – Perfil diário de uso de lavatório (Hendron e Engebrecht 2010).



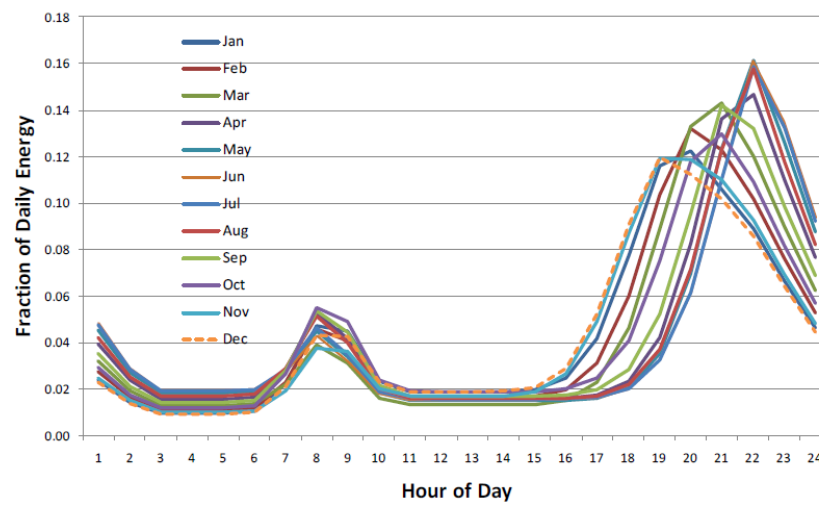


Figura 140 – Perfil diário de uso de iluminação (Hendron e Engebrecht 2010).



## **ANEXO II**



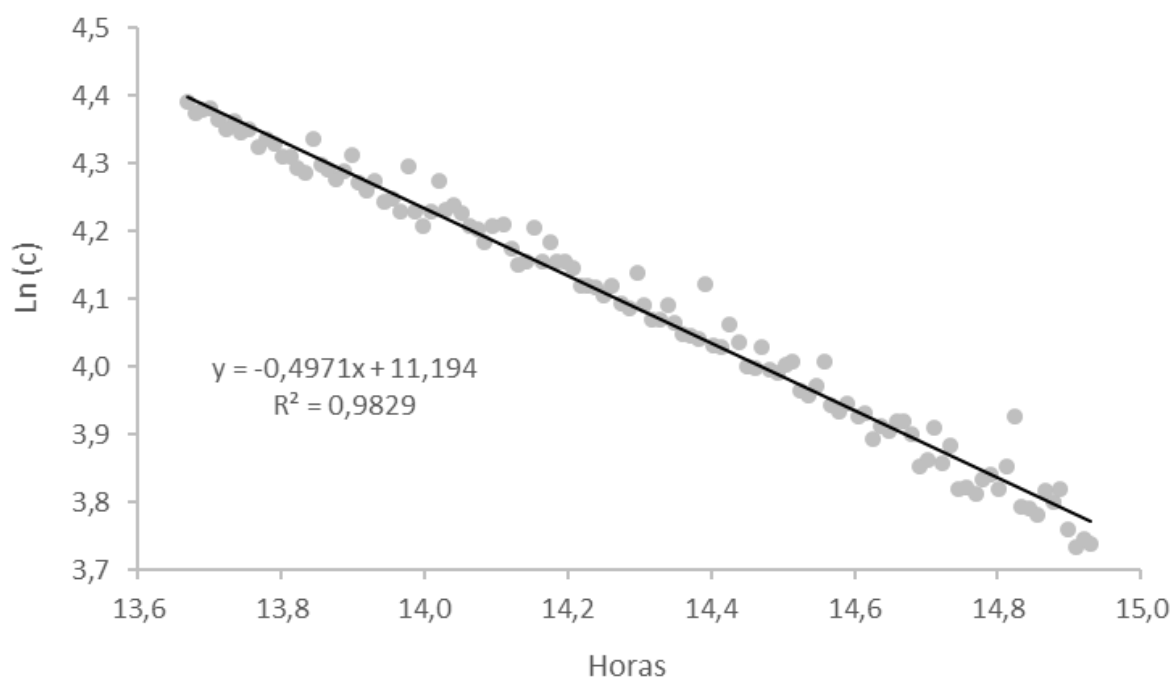


Figura 141 – Método do decaimento – Compartimento W1 – Condições de VMC ligada e boca de extrator fechado.

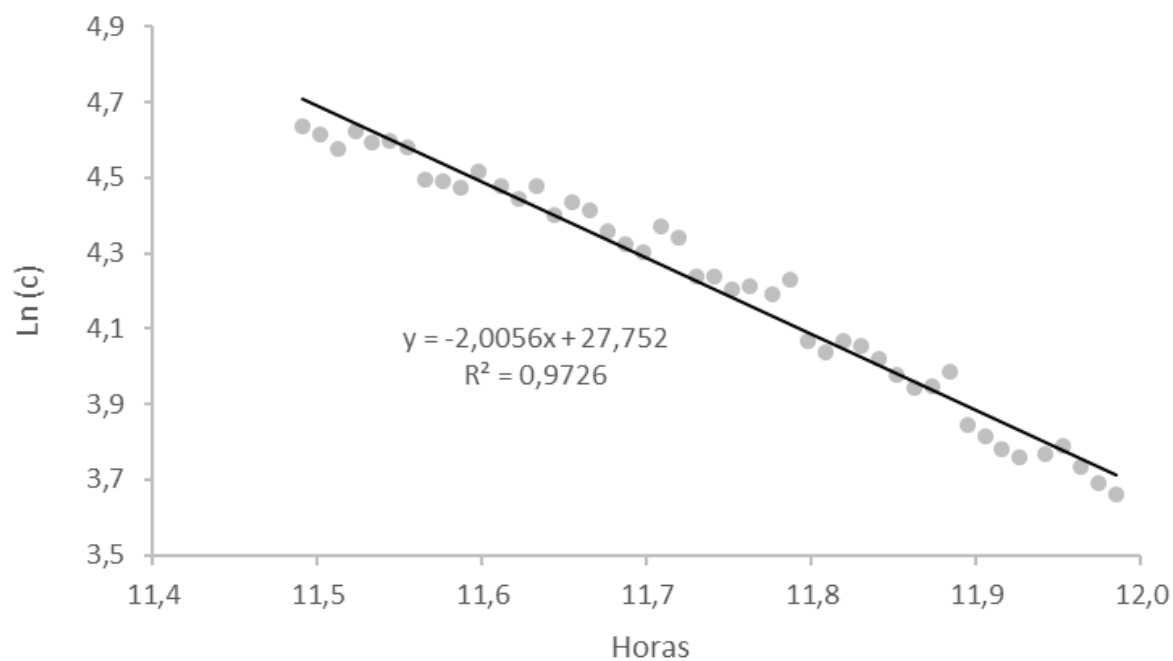


Figura 142 – Método do decaimento – Compartimento W1 – Condições de VMC ligada e boca de extrator meio aberto.

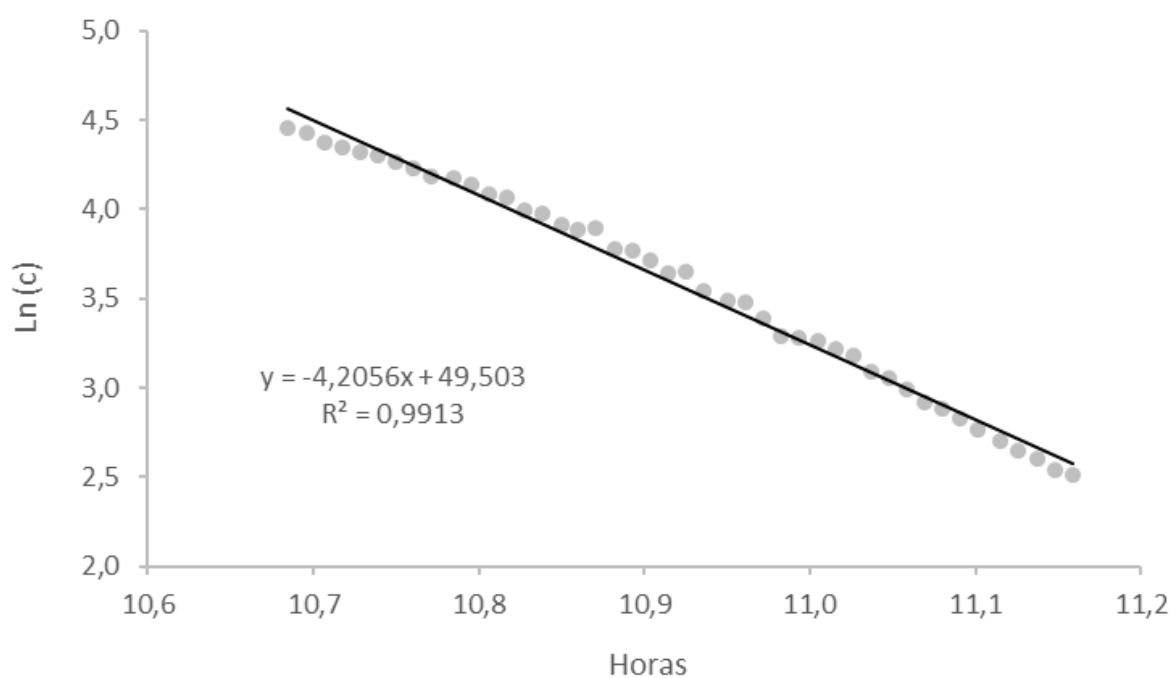


Figura 143 – Método do decaimento – Compartimento W1 – Condições de VMC ligada e boca de extrator aberta (máxima abertura).

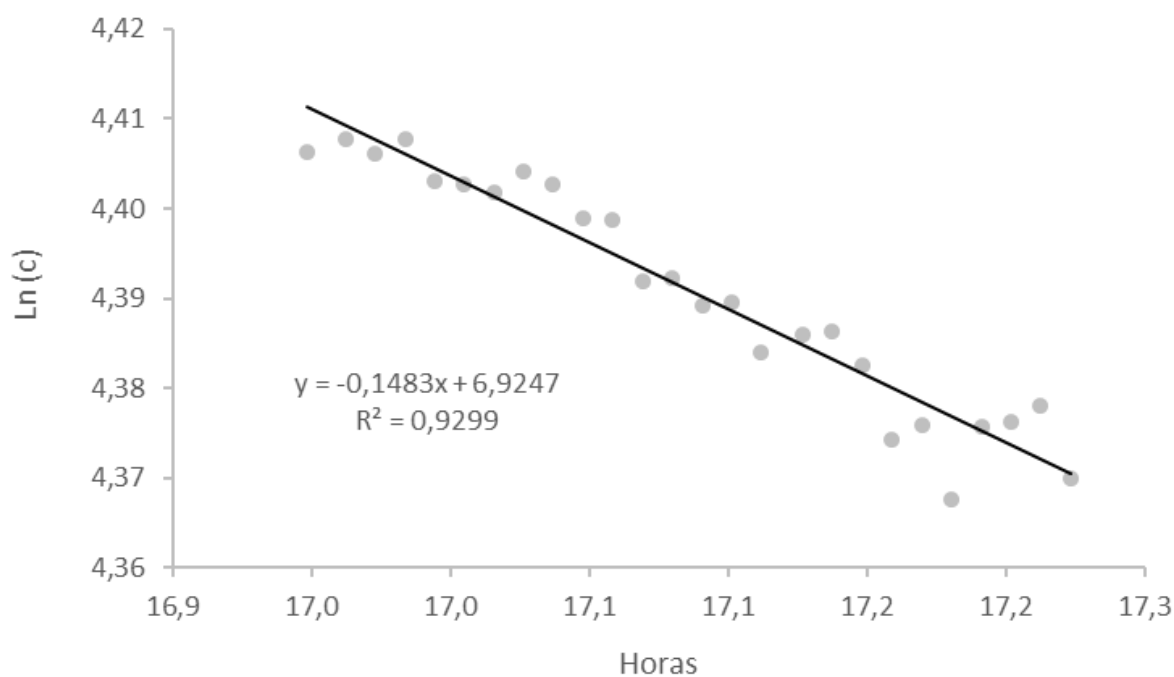


Figura 144 – Método do decaimento – Compartimento W1 - Condições de VMC desligada e boca de extrator fechado.

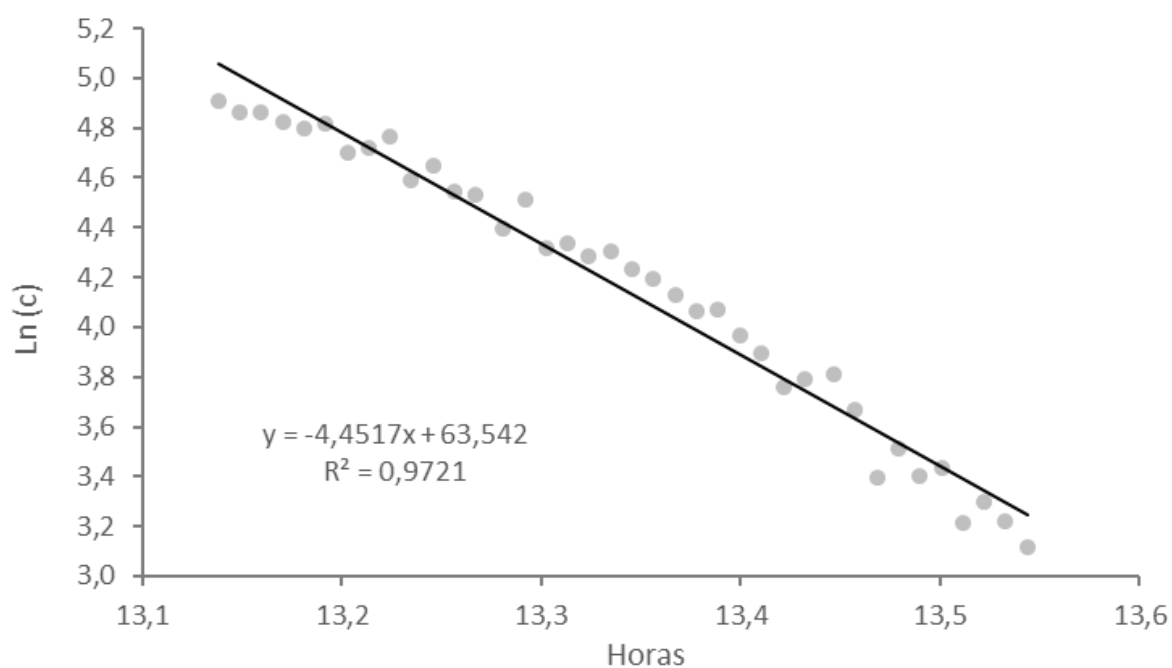


Figura 145 – Método do decaimento – Compartimento W1 - Condições de janela aberta.

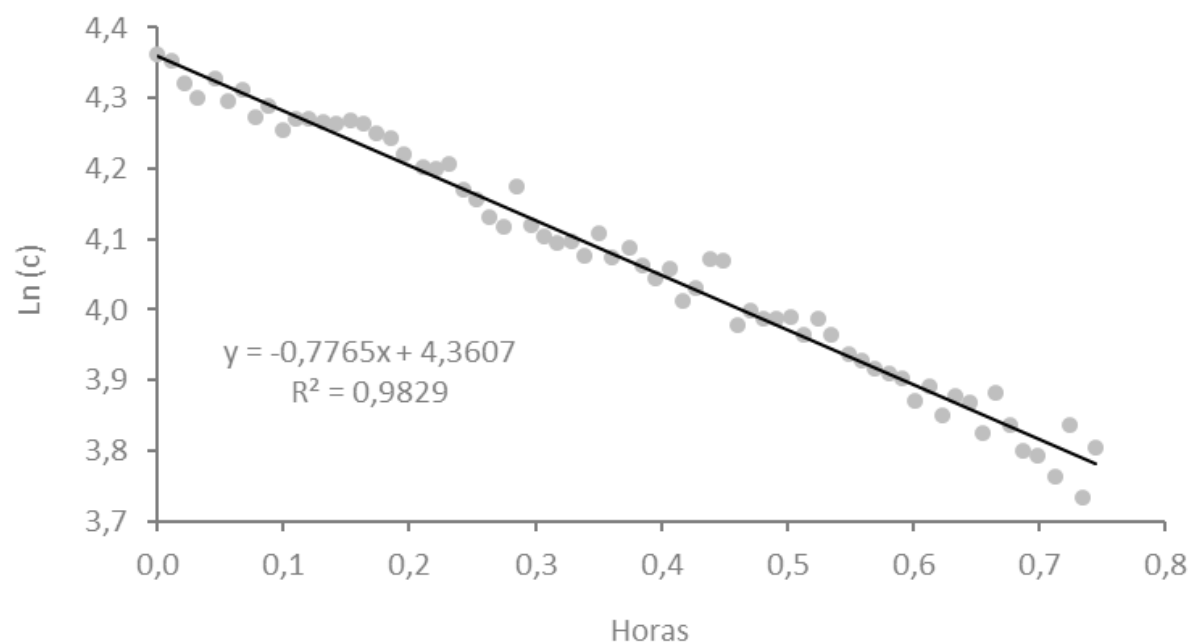


Figura 146 – Método do decaimento – Compartimento R1 - Condições de VMC ligada e boca de extrator aberto.

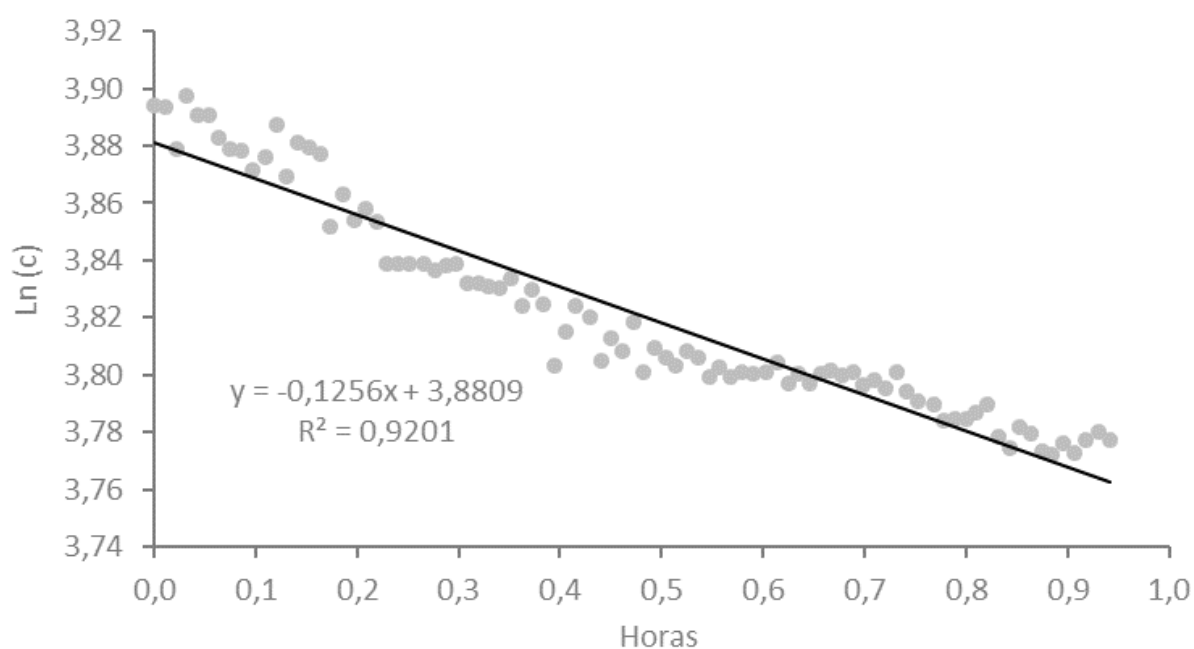


Figura 147 – Método do decaimento – Compartimento R1 - Condições de VMC desligada e boca de extrator fechado.

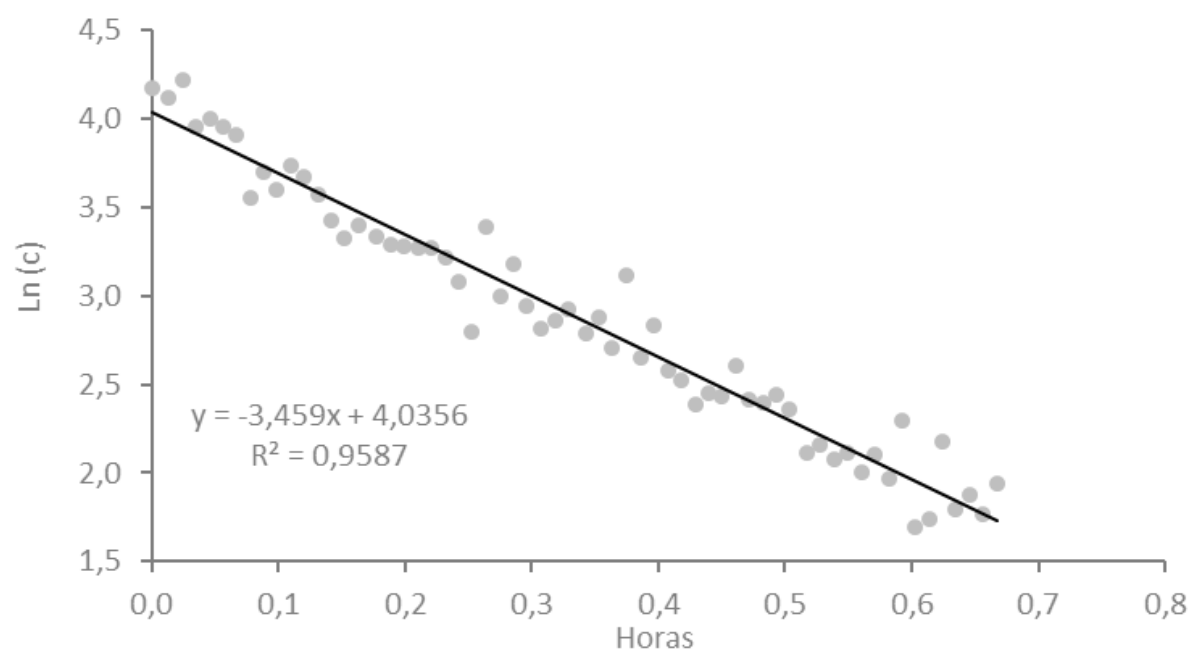


Figura 148 – Método do decaimento – Compartimento R1 - Condições de janela aberta.



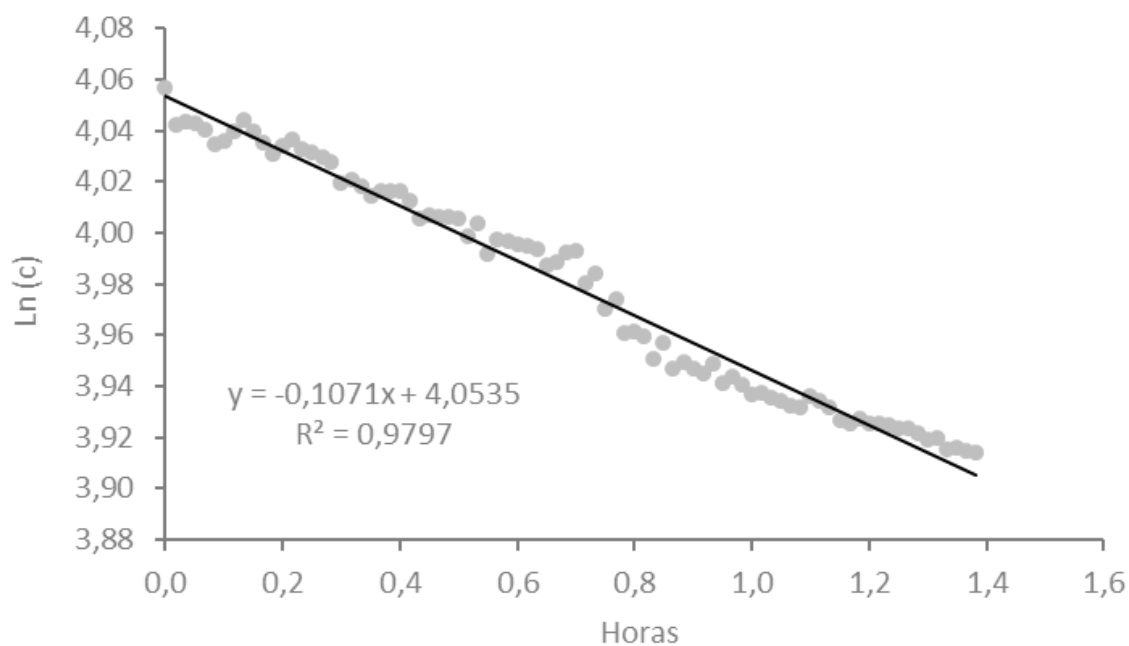


Figura 149 – Método do decaimento – Compartimento LR - Condições de VMC desligada.

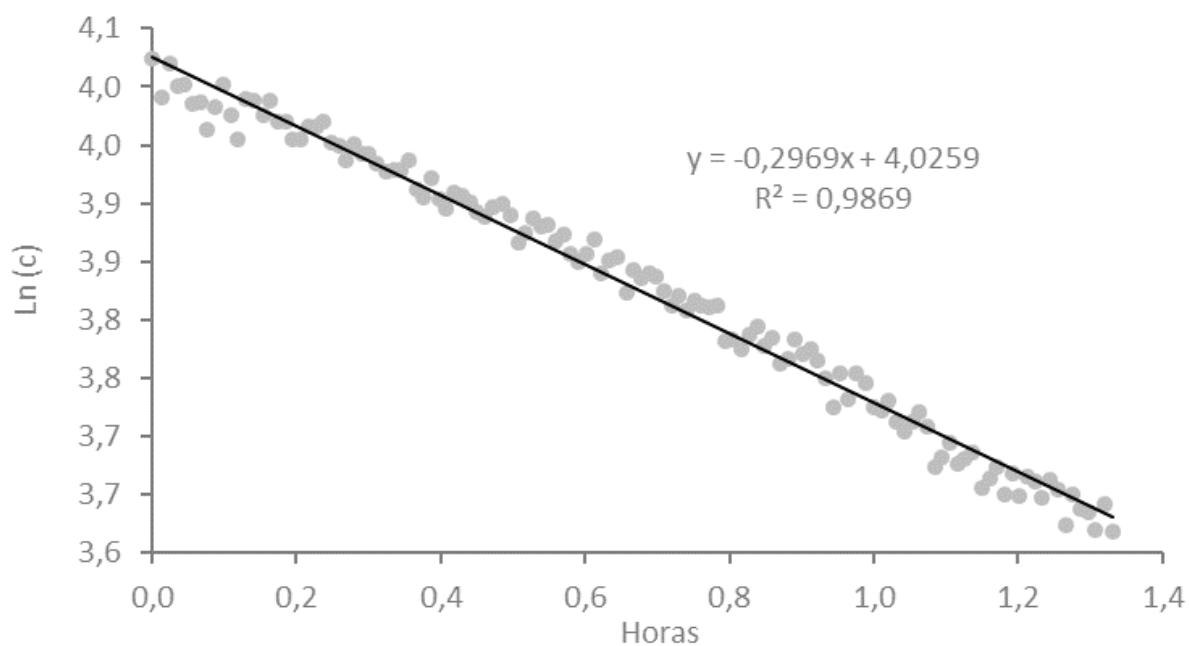


Figura 150 – Método do decaimento – Compartimento LR - Condições de VMC ligada.

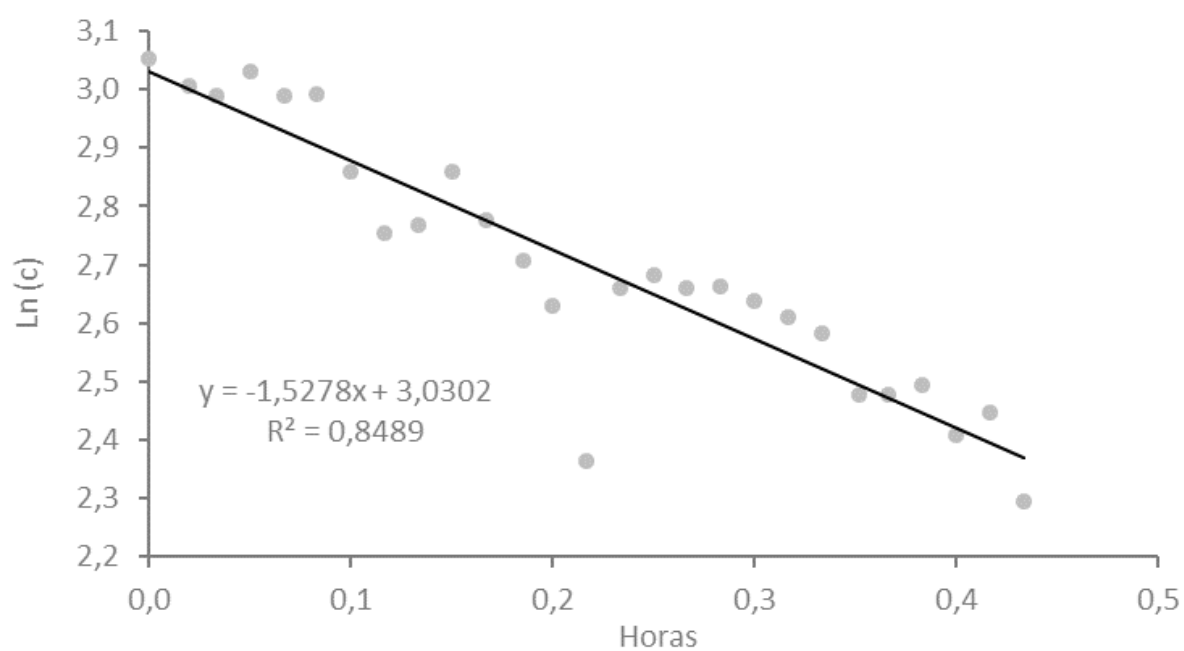


Figura 151 – Método do decaimento – Compartimento LR – Porta interior aberta.

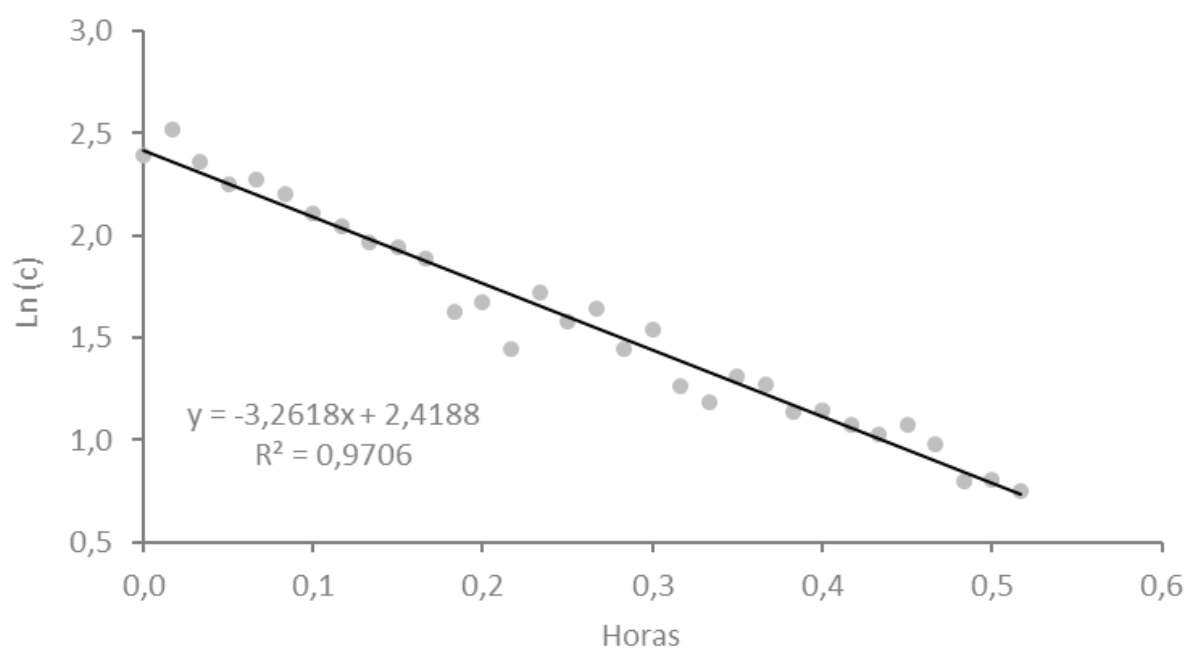


Figura 152 – Método do decaimento – Compartimento LR - Condições de janela aberta.